

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

С.О. Саидов

СПЕЦПРАКТИКУМ ПО
ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКЕ И
ЛАЗЕРНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

(Учебное пособие для студентов и преподавателей профильных вузов)

Издательство «КАМОЛОТ»
Бухара-2024

УДК: 621.375.826

ББК: 22.345

C14

Сайдов Сафо Олимович, Спецпрактикум по лазерной физике и лазерным технологиям [текст]: учебное пособие / С.О. Сайдов - БУХАРА: ООО “БУХОРО ДЕТЕРМИНАНТИ” издательство КАМОЛОТ, 2024 г. 108 ст

Физика лазеров и лазерных технологий является прекрасным примером неразрывной связи между наукой и практикой. Спецпрактикум содержит контрольные вопросы, задачи и тестовые задания, описание лабораторных работ по дисциплине «Физика лазеров», являясь продолжением учебника и учебного пособия «Лазерная физика», «Основы физики лазеров и лазерных технологий» изданных автором соответственно, в 2022 и 2023 г.г.

Спецпрактикум (учебное пособие) предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров 60530900 - «Физика» и магистрантов, 70530901 - «Физика» и 70530905 - «Физика полупроводников», а также преподавателей профильных вузов.

Lazer fizikasi va lazer texnologiyasi fan va amaliyot o'rtasidagi uzviy bog'liqlikning ajoyib namunasidir. Maxsus praktikumda «Lazer fizikasi» fani bo'yicha nazorat savollari, masalalar va test topshiriqlari, laboratoriya ishlarining tavsiflari keltirilgan bo'lib, u mos ravishda 2022 va 2023 yillarda muallif tomonidan nashr etilgan «Lazer fizikasi», «Lazer fizikasi va lazer texnologiyalari asoslari» darsligi va o'quv qo'llanmasining mantiqiy davomi hisoblanadi.

Maxsus praktikumda (o'quv qo'llanmasi) bakalavriatning 60530900 - «Fizika» va magistraturaning, 70530901- «Fizika» va 70530905 - «Yarim o'tkazgichlar fizikasi» yo'nalishlari bo'yicha o'qiydigan talabalar,

The physics of lasers and laser technologies is an excellent example of the inextricable connection between science and practice. The special workshop contains test questions, tasks and test tasks, a description of laboratory work in the discipline “Laser Physics”, being a continuation of the textbook and study guide “Laser Physics”, “Fundamentals of Laser Physics and Laser Technologies” published by the author, respectively, in 2022 and 2023 .

The special workshop (textbook) is intended for students studying in the areas of training bachelors 60530900 - "Physics" and master's students, 70530901 - "Physics" and 70530905 - "Physics of Semiconductors", as well as teachers of specialized universities.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

- | | | |
|----------------|---|--|
| А.Х. Рамазонов | - | к.ф.-м.н., доцент кафедры «Фотоника»
Физического факультета Национального
университета Узбекистана имени |
| Э.С. Назаров | - | М. Улугбека
к.т.н., доцент кафедры Физики Бухарского
государственного университета |

ISBN 978-9910-734-72-4

Рекомендовано к печати Министерством высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан в качестве учебного пособия для студентов и преподавателей профильных вузов (приказ № 55 от 4 марта 2024 г.)

© Издательство «КАМОЛОТ»
© Сайдов Сафо Олимович

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ГЛАВА. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ЛАЗЕРОВ: ПРИНЦИП РАБОТЫ, ВИДЫ И ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВЕЩЕСТВО.	9
2.ГЛАВА. ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ.	18
3 ГЛАВА. ВЫНУЖДЕННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.	27
4. ГЛАВА. ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.	33
5 ГЛАВА. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ.	43
6 ГЛАВА. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКЕ	54
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ СВЕТА ГЕЛИЕВО-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬСОНА	60
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА И ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА	82
ТЕМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ: МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	86
ГЛОССАРИЙ	88
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	92
	105

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с проводимыми социально-экономическими реформами в Узбекистане большое внимание уделяется науке и образованию. В частности, подписанные Президентом Республики Узбекистан Ш.М. Мирзиёевым Постановления ПП- 2909 от 20 апреля 2017 г. «О мерах по дальнейшему развитию системы высшего образования» и ПП-5032 от 19 марта 2021 г. «О мерах по повышению качества образования и развитию научных исследований в области физики», подняли реформы в науке и образовании на качественно новый уровень [1]. Специальные программы, направленные на обеспечение реализации вышеуказанных решений, включают развитие материально-технической базы высших учебных заведений страны, повышение качества преподавательского состава, повышение эффективности преподавания физики, внедрение современных методов обучения, подбор одарённых студентов и определён ряд актуальных задач, направленных на подготовку конкурентоспособных специалистов для рынка труда, развитие научных исследований и инноваций, а также практическую эффективность этих задач. В связи с этим разработка и реализация практических мер по комплексной поддержке фундаментальных научных исследований в области физики, повышению эффективности системы подготовки научных кадров и углублению интеграции «наука – образование – производство – регион» является актуальной. Это, в свою очередь, способствует развитию фундаментальных наук.

Физика лазеров и лазерные технологии могут быть прекрасным примером взаимозависимости между наукой и практикой. Сегодня некоторые области науки и техники невозможно представить без лазеров.

Современное понимание и углубленное изучение процессов, происходящих в атомных и молекулярных системах при их взаимодействии с электромагнитным полем, становится эффективным, когда обучение сопровождается решением задач, семинарами и выполнением лабораторных работ.

Настоящий спецпрактикум является логическим продолжением учебника и учебного пособия по «Лазерной физике» [2], [3], изданные в 2022 и 2023 г.г., соответственно.

В соответствии с программой курса спецпрактикум содержит 6 глав с контрольными вопросами, задачами и тестовыми заданиями для практических занятий и самостоятельных работ, а также описаний лабораторных работ.

В разделы 1-5 вошли контрольные вопросы, задачи и задания, посвященные истории развития лазерной физики, взаимодействию лазерного излучения с веществом, фундаментальным понятиям и закономерностям, происходящим в процессах физики лазерного излучения, типам лазеров, режимам работы лазеров и свойствам его излучения. Часть этих разделов посвящена области преобразования частоты лазерного излучения и обсуждению некоторых вопросов нелинейной оптики.

При решении задач необходимо устанавливать физические закономерности, лежащие в их основе. После этого следует перейти к выводу расчетной формулы в буквенном виде, а затем подстановкой числовых данных, выраженных в одной и той же системе единиц. У числового ответа нужно писать наименование единицы измерения. При решении задач необходимо пользоваться Международной системой (Système International, или Система Международная – СИ) единиц. Основные и дополнительные единицы СИ приведены в табл. В. 1.

Таблица В.1

№ п/п	Величина	Единица измерения	
1	Длина	метр	м
2	Масса	килограмм	кг
3	Время	секунда	с
4	Сила электрического тока	ампер	А
5	Термодинамическая температура	кельвин	К
6	Сила света	кандела	Кд
7	Количество вещества	моль	моль
Дополнительные единицы			
1	Плоский угол	радиан	рад
2	Телесный угол	стерадиан	страд

В задачах, где требуется построить графическую зависимость

и оптическую схему установки, построение следует выполнить в масштабе и с соблюдением установленных ГОСТов.

6 раздел содержит описание пяти лабораторных работ, посвященных изучению свойств и измерению параметров лазерного излучения.

В табл. В.2 приведены приставки, служащие для образования кратных и дольных единиц СИ.

Таблица В.2

Приставка	Численное значение	Обозначение	Приставка	Численное значение	Обозначение
Атто	10^{-18}	а	Деци	10^{-1}	д
Фемто	10^{-15}	ф	Дека	10^1	да
Пико	10^{-12}	п	Гекто	10^2	г
Нано	10^{-9}	н	Кило	10^3	к
Микро	10^{-6}	мк	Мега	10^6	М
Милли	10^{-3}	м	Гига	10^9	Г
Санти	10^{-2}	с	Тера	10^{12}	Т

В табл. В.3 приведены основные фундаментальные физические константы.

Таблица В.3

Универсальные константы	
Скорость света в вакууме	$c = 299\ 792\ 458 \text{ м/с}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Гравитационная постоянная	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Планка	$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Электромагнитные постоянные	
Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Ридберга	$R = 1,097\ 373\ 1,534 \text{ м}^{-1} = 13,6 \text{ эВ}$
Боровский радиус	$a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

Масса покоя протона	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Физико-химические константы	
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Больцмана	$K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/(моль · К)
Постоянная Лошмидта	$N_0 = N_A / V_m = 2,686 \cdot 10^{25}$ м ⁻³
Астрономические постоянные	
Радиус Земли	$6,378 \cdot 164 \cdot 10^6$ м
Средняя плотность Земли	$5,518 \cdot 10^3$ кг/м ³
Масса Земли	$5,976 \cdot 10^{24}$ кг
Радиус Солнца	$6,959 \cdot 10^8$ м
Радиус Луны	$1,737 \cdot 10^6$ м

Приведены методические рекомендации при подготовке к зачету (экзамену), выполнению контрольной работы, реферата и критерии их оценивания.

При подготовке учебного пособия автор использовал свои лекции и опыт, полученный на семинарах по «Физике лазеров», который преподается на бакалавриате по специальности «Физика» в Бухарском государственном университете.

При подготовке рукописи автор использовал материалы из открытого доступа по данному направлению.

Учебное пособие в той или иной мере обогащён и структурирован в рамках примерной программы и предназначен для студентов, магистров, профессоров, научных работников, а также для учителей, учащихся общеобразовательных школ и техникумов.

Автор будет благодарен за все замечания по существу и по оформлению учебного пособия.



1. ГЛАВА. ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ЛАЗЕРОВ: ПРИНЦИП РАБОТЫ, ВИДЫ И ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВЕЩЕСТВО. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Спонтанные и вынужденные переходы.
2. Исторически кому принадлежит идея об вынужденном излучении.
3. Расскажите о работах В.А. Фабриканта, А.М. Прохорова, Н.Г. Басова о свойствах вынужденного излучения.
4. Расскажите о работах Ч. Таунса, Дж. Вебера и Дж. Меймана о возможностях создания квантовых генераторов.
5. Что такое лазерное излучение?
6. Кем был создан первое в мире лазерное устройство?
7. Расскажите о инверсной населенности уровней и об усилении света.
8. Что такое открытый резонатор?
9. Расскажите о системе накачки.
10. Из каких основных частей состоит структурная схема любого типа лазера?
11. Расскажите о способах накачки лазеров.
12. Расскажите об условиях лазерной генерации.
13. Расскажите о спектре лазерного излучения.
14. В чем отличия между спонтанным и вынужденным излучением?
15. Расскажите о когерентности лазерного излучения.
16. Как связаны друг с другом коэффициенты спонтанного и вынужденного излучения и поглощения?
17. Что называется инверсной населенностью и почему она необходима для получения усиления в квантовой системе?
18. От каких факторов зависит пороговая инверсная населенность для излучения?
19. Чем характеризуется усиление сигнала в инверсной среде?
20. От каких факторов зависит ширина спектральной линии?
21. Как оценить естественную ширину спектральной линии?
22. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные способы накачки.

23. Каким методом можно получить инверсную населённость в двухуровневой системе?
24. Сформулируйте условия получения максимального уровня инверсии в трехуровневой системе.
25. Укажите условия возникновения генерации излучения в квантовой системе?
26. Что такое добротность оптического резонатора?
27. Укажите виды потерь энергии в резонаторе. Какие виды потерь являются полезными?
28. Проведите сравнение свойств плоских и сферических резонаторов.
29. Опишите процесс формирования гигантского импульса в режиме модуляции добротности.
30. Укажите основные методы модуляции добротности.
31. Рассмотрите режим синхронизации мод, укажите причины получения коротких мощных импульсов.
32. Как влияет синхронизация мод на среднюю мощность излучения и почему?
33. Что такое когерентность излучения, и для каких областей применения лазеров она важна?
34. Какими факторами определяется расходимость лазерного излучения?
35. Почему плотность мощности излучения лазеров может достигать очень больших величин?
36. Чем определяется число заполнения идеального газа бозонов – бозе-газа?
37. При каком условии распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака переходят в классическое распределение Максвелла-Больцмана?
38. Назовите условие вырождения квантового газа?
39. Опишите процесс бозе-конденсации.
40. Опишите процесс трёхступенчатой фотоионизации в сильном лазерном поле.
41. Опишите модель двухуровневой системы.
42. Расскажите о модели трёхуровневой системы.
43. Укажите основные параметры и особенности следующих лазе-

ров: рубинового, на неодимовом стекле, на алюмоиттриевом гранате, гелий- неонового, на смеси углекислый газ – азот – гелий, газодинамического, химического, на парах металлов, ионно– аргонового, азотного, эксимерного, полупроводникового, на красителях.

44. Укажите активные ионы в лазерах на рубине, алюмоиттриевом гранате и неодимовом стекле.

45. Чем отличаются лазеры на алюмоиттриевом гранате и неодимовом стекле?

46. Укажите функции гелия в гелий-неоновом лазере.

47. Почему лазеры на парах меди могут работать только в импульсном режиме?

48. На каких переходах молекул углекислого газа происходит генерация?

49. Укажите в смесях каких газов при разряде могут образовываться эксимерные молекулы.

50. Проанализируйте схему потенциальных кривых одной из эксимерных молекул.



ЗАДАЧИ И ЗАДАНИЯ для практических занятий и самостоятельной работы

1. Определить энергию кванта света, имеющего длину волны 632,8 нм; 1,06 мкм; 10,6 мкм; 228 нм; 330 нм.
2. Лазер мощностью 1 мВт излучает свет с длиной волны 632,8 нм. Вычислить поток квантов излучения.
3. Коэффициент поглощения излучения в активной среде составляет $0,1 \text{ см}^{-1}$. Во сколько раз уменьшится интенсивность излучения при прохождении пути l (10 см, 100 см)?
4. Сечение поглощения излучения с длиной волны 330 нм хлором составляет $2 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$. Во сколько раз уменьшится интенсивность при прохождении расстояния 1 м?
5. Определить коэффициент и сечение поглощения излучения, если сигнал при прохождении расстояния 20 см ослабляется вдвое.
6. Вычислите коэффициент вынужденного излучения B , если коэффициент спонтанного излучения A составляет а) 10^8 с^{-1} , б) 10^6 с^{-1} , в) 10^4 с^{-1} .
7. Во сколько раз усиливается излучение, если коэффициент усиления составляет а) 0,1 дБ, б) 1 дБ, в) 10 дБ?
8. Интегральный коэффициент усиления системы составляет 10 дБ, выходная мощность 1 мВт. Определить входную мощность.
9. Вероятность перехода A_{mn} составляет $2 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$. Определить время жизни частицы в возбужденном состоянии и ширину энергетического уровня.
10. Вычислите естественную ширину спектральной линии и ширину энергетического уровня, если коэффициент спонтанного излучения A составляет а) 10^8 с^{-1} , б) 10^6 с^{-1} , в) 10^4 с^{-1} .
11. Рассчитайте доплеровскую ширину спектральной линии не-

она с длиной волны 632,8 нм при температуре газа 100 °С и сравните ее с естественной шириной.

12. Вычислите столкновительное уширение спектральной линии неона 632,8 нм при давлении газа 400 Па и температуре 400 К, сравните с доплеровским уширением и естественной шириной спектральной линии.

13. Вычислите столкновительное уширение спектральной линии молекулы углекислого газа с длиной волны 10,6 мкм при давлении газа 105 Па и температуре 400 К, сравните с доплеровским уширением и естественной шириной спектральной линии.

14. Запишите условия, при которых отношение концентраций частиц на верхнем и нижнем уровне в двухуровневой системе будет равно а) 0,5; б) Как называется состояние среды в последнем случае?

15. Оцените величину коэффициента поглощения излучения в двухуровневой системе при бесконечной мощности накачки.

16. В трехуровневой системе активным является переход $2 \rightarrow 1$. Укажите: а) каким должно быть время жизни уровня 2 – большим или малым, б) каким должен быть коэффициент Эйнштейна для перехода $1 \rightarrow 3$ – большим или малым, в) какова должна быть скорость перехода $3 \rightarrow 2$ - большой или малой для создания максимального уровня инверсии?

17. Почему в четырехуровневой системе инверсия населенности достигается при минимальном уровне накачки? Проиллюстрируйте ответ графиком.

18. Как влияет разность энергий уровней $4 \rightarrow 3$ и $2 \rightarrow 1$ на коэффициент полезного действия четырехуровневой лазерной системы?

19. Как влияет добротность резонатора на пороговую инверсную населенность по генерации?

20. Определите добротность резонатора гелий-неонового лазера по отношению к потерям на излучение, если длина активной зоны 40 см, а коэффициент отражения зеркала составляет а) 0,9; б) 0,6; в) 0,4.

21. Определить соотношения максимальной и минимальной ин-

тенсивности интерференционных полос, соответствующих степени когерентности излучения 1; 0,8; 0,5.

22. Определить дифракционный предел расходимости лазерного излучения гелий-неонового лазера, дающего плоский пучок диаметром 3 мм.

23. Определить теоретически возможную ширину спектральной линии и степень монохроматичности излучения гелий-неонового лазера на длине волны 632,8 нм, если мощность излучения составляет 1 мВт, добротность резонатора 10^8 .

24. Теоретическая ширина спектральной линии гелий-неонового лазера найдена равной 1 Гц. Определить, с какой точностью нужно стабилизировать длину резонатора, составляющую 1 м, чтобы получить такую ширину линии?

25. Оцените максимальное значение степени когерентности лазерного излучения и сформулируйте условия его получения.

26. Вычислите дифракционный предел расходимости плоского и Гауссова пучка излучения гелий-неонового лазера диаметром 3 мм.

27. Определить длину волны излучения аргонового лазера, если разность энергии между верхним 4p и нижним 4s уровнями составляет 2,4 эВ. Какого цвета излучение аргонового лазера?

Указание : $v = 1 / h(E_2 - E_1)$; 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

28. Запишите интервалы длин волн (м) и соответствующие им частоты (Гц) для следующих спектральных областей: 1) рентгеновские лучи; 2) область вакуумного ультрафиолета; 3) ультрафиолетовая область; 4) видимый свет; 5) ближний инфракрасный диапазон; 6) дальний инфракрасный диапазон.

29. Запишите и запомните все длины волн соответствующие основным цветам радуги, а именно: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий «Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан».

30. Определите частоту поглощения между энергетическими уровнями

$E_{14} = 20$ эВ и $E_{45} = 1$ эВ. Указание: $v_{15} = v_{14} + v_{45}$.

31. Определите энергию излучения фотона при переходе $4 \rightarrow 3$, если известны частота поглощения ν_{14} и частота излучения ν_{13} . Указание: $E_{43} = h(\nu_{14} - \nu_{13})$.

32. Во сколько раз уменьшится населенность нижнего энергетического уровня при поглощении фотона за время $t = 10$ мс, если вероятность перехода $1 \rightarrow 2$ составляет $A_{12} = 10^8 \text{ с}^{-1}$.

33. Вычислите время жизни спонтанного излучения для длины волны

$\lambda = 6328 \text{ \AA}$, если известно, что вероятность вынужденного излучения

$A_{21} = 10^8 \text{ с}^{-1}$ связана с вероятностью спонтанного излучения соотношением: $W_{21}^{\text{сп}} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} h\nu A_{21}^{\text{вын}}$.

34. Найдите относительную населенность двух возбужденных энергетических уровней, находящихся в термодинамическом равновесии, если разность частот между этими энергетическими уровнями соответствует частоте излучения YAG:Nd³⁺-лазера ($\lambda = 1,064 \text{ мкм}$) при температуре 300, 77 и 4,2 К. Указание: $N_1/N_2 = \exp(-\Delta E/T)$; $\Delta E = E_2 - E_1$.

35. Пусть отношение населенностей N_2/N_1 двух уровней, находящихся в термодинамическом равновесии при температуре 100 К, $1/e$. Вычислите частоту излучения ν , соответствующую переходу между этими уровнями. В какую область спектра попадает излучение с такой частотой? Указание: $1/e = \exp(-\Delta E/T)$.

36. До какой температуры может нагреваться активная среда лазера, если отношение населенностей между верхним и нижним энергетическими состояниями $N_2/N_1 = 2$, а разность энергий между этими уровнями $\Delta E = E_2 - E_1 = 2 \text{ эВ}$.

37. Определите разность населенностей между верхним и нижним энергетическими уровнями атомной системы, если сечение вынужденного излучения $\sigma_{21} = 10^{-11} \text{ см}^2$. Отношение плотности потока фотонов, в среду на глубину $l = 60 \text{ см}$, к плотности падающего потока фотонов, $F(1)/F(0) = 0,5$. Указание: $F_s = I_0 \exp[-\sigma(N_1 - N_2)d]$.

38. Вычислите длину активной среды лазера, если сечение вынужденного излучения $\sigma_{21} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2$. Разность населенности $(N_2 - N_1)_{\text{кр.}} = 1,6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, отношение плотности потока фотонов, прошедшего в глубину L , к плотности потока накачки $F(1)/F(0) = 0,1$. Указание: $F_s = I_0 \exp[-\sigma(N_1 - N_2)d]$.

39. Распределение плотности энергии нагретого тела представляется в виде кривой с максимумом на некоторой длине волны. Определите максимальную длину волны для температуры $T = 4000 \text{ К}$. Какой цвет соответствует этой длине волны? Постоянная смещения Вина $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ мК}$. Указание: $T = \frac{b}{\lambda_{\text{max}}}$.

40. Запишите частоты и длины волн следующих спектральных областей: 1) инфракрасная, 2) видимый свет, 3) ультрафиолетовая, 4) рентгеновские лучи.

41. Запишите длины волн, соответствующие синему, зеленому и красному участкам спектра.

42. Каково отношение населенностей между двух уровней, разделенных частотой, равной частоте зеленого света, при комнатной температуре. Максимум длины волны зеленого света равен 500 нм, комнатная температура 20° . Указание: $N_2/N_1 = \exp(-h\nu/kT)$.

43. Вычислите частоту излучения, если отношение $N_2/N_1 = 1/e$ при комнатной температуре, согласно формуле $N_2/N_1 = \exp(-h\nu/kT)$.

44. Запишите частоты и длины волн следующих спектральных областей: 1) инфракрасная, 2) видимый свет, 3) ультрафиолетовая, 4) рентгеновские лучи.

45. Каково отношение населенностей между двух уровней, разделенных частотой, равной частоте красного света ($\lambda = 500 \text{ нм}$), при комнатной температуре ($T = 300 \text{ К}$)? Указание: $N_2/N_1 = \exp(-h\nu/kT)$.

46. Вычислите частоту излучения, если отношение $N_2/N_1 = 1/e$ при комнатной температуре ($T = 300 \text{ К}$), согласно формуле $N_2/N_1 = \exp(-h\nu/kT)$.

46. Двухуровневая система атомов излучает энергию с длиной волны, соответствующей фиолетовому диапазону ($\lambda = 427$ нм). Каково отношение населенностей этих уровней при комнатной температуре, если газ находится в термодинамическом равновесном состоянии?

47. Интенсивность насыщения лазерного перехода составляет 10^6 Вт/см². Определить сечение поглощения на этом переходе, если его длина волны равна $\lambda = 3,39$ мкм, а время жизни верхнего уровня составляет $\tau_2 = 10^{-7}$ с.

48. Непрерывный Не – Не - лазер, состоящий из конфокального резонатора, имеет одномодовое излучение на длине волны $\lambda = 632,8$ нм. Длина L резонатора равна 2 м. Определите фазовую скорость гауссова пучка на выходном зеркале резонатора. Указание: $v_\phi = c_0/n[1 - (\lambda/l\pi z) \operatorname{arctg}(2z/L)]$, где c_0 – скорость света в вакууме, n – показатель преломления, $z = L/2$ – расстояние от центра резонатора до выходного зеркала.

49. Зная расстояние между вращательными компонентами линии усиления $2B = 1$ см⁻¹, вычислите максимальное квантовое число при температуре 450 К.

50. Начальная инверсия на энергетическом состоянии 2E рубина равна $N_0 = 10^{19}$ см⁻³. Импульсный режим лазерной генерации осуществляется на переходе $\bar{E} \rightarrow {}^4A_2$ с длиной волны $\lambda = 0,6943$ мкм. Определите добротность резонатора как отношение накопленной энергии в резонаторе к энергии, теряемой резонатором за период, если пиковая мощность выходного излучения $P = 50$ МВт. Указание: $P = N_0 h \nu / 2 \tau_\phi$;

$$Q = 2\pi \frac{\tau_\phi}{T}; T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}.$$



2.ГЛАВА. ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните различный характер взаимодействия световых полей малой и большой интенсивности с веществом.
2. Каковы физические причины нелинейных оптических явлений?
3. Каков физический смысл величины $\chi (m)$ – нелинейной восприимчивости m -го порядка?
4. Каковы физические причины одновременного возникновения нескольких волн с кратными частотами в нелинейной среде?
5. Покажите, что если на среду воздействуют две плоские монохроматические волны с различными частотами ω_1 и ω_2 , то квадратичная поляризованность среды будет содержать гармонические составляющие на частотах $2\omega_1$, $2\omega_2$, $\omega_1 - \omega_2$ и $\omega_1 + \omega_2$.
6. Пояснить схему опыта П. Франкена по наблюдению генерации второй гармоники.
7. Объяснить сущность некогерентных нелинейных эффектов в оптике.
8. В чем состоит физический смысл волнового (фазового) синхронизма?
9. В чем заключается полуклассический подход при рассмотрении взаимодействия электромагнитного излучения с веществом?
10. Объяснить, как влияет симметрия оптического кристалла на его нелинейную поляризацию.
11. Пояснить, почему в кварцевых стеклах, применяемых в оптических световодах, не могут иметь место нелинейные эффекты второго порядка.
12. Объяснить, что представляет собой пьезоэлектрический кристалл с точки зрения нелинейной восприимчивости оптических сред.
13. Получить волновое уравнение для среды с нелинейной поляризованностью, записанное для магнитной составляющей электромагнитного поля.

14. Что такое дисперсия нелинейных восприимчивостей и чем она обусловлена?
15. Дать математическую запись того, что некоторая оптическая среда является слабопоглощающей и слабонелинейной.
16. Параметр, описывающий степень пригодности линейной модели в электродинамике.
17. Что такое нелинейная поляризация?
18. Что такое нелинейная восприимчивость?
19. Объясните классическую модель линейной восприимчивости - газ электронов в поле электромагнитной волны.
20. Объясните классическую модель нелинейной восприимчивости - газ электронов в поле электромагнитной волны.
21. Объясните классическую модель линейной восприимчивости - модель гармонического осциллятора.
22. Перечислить основные характеристики электромагнитной волны.
23. Объяснить физический смысл уравнений Максвелла.
24. Дать определения операторов rot , div , grad , оператора Лапласа, опишите их свойства и известные тождества с этими операторами из курса векторного анализа.
25. Объяснить различный характер взаимодействия световых полей малой и большой интенсивности с веществом.
26. Каков физический смысл диэлектрической восприимчивости порядка m ?
27. Почему в кварцевых стёклах, применяемых в оптических световодах, не могут иметь место нелинейные эффекты 2-го порядка?
28. Привести примеры линейных и нелинейных физических законов и явлений.
29. Привести примеры изотропных оптических сред, одноосных и двухосных кристаллов.
30. Что такое электронная, ионная и ориентационная поляризованность?
31. Каковы границы применимости линейной модели Друде-Лоренца взаимодействия излучения с веществом?

32. Каким свойством должна обладать среда, чтобы при взаимодействии с излучением частотой ω , возникло излучение частотой 2ω ?

33. Какова физическая природа ангармоничности колебаний электрона в атоме при воздействии интенсивного излучения?

34. Перечислите известные сингонии кристаллов и укажите, какие элементы симметрии есть в эти группах.

35. Какие существуют способы получения искусственной анизотропии?

36. Какая группа симметрии кристаллов не подходит для эффективной генерации второй гармоники и почему?

37. Сравните оптические свойства одноосных и двуосных кристаллов.

38. Перечислить основные свойства симметрии тензоров восприимчивости.

39. Что такое эффективная диэлектрическая восприимчивость?

40. В чём состоит приближение медленно меняющихся амплитуд?

41. В каком случае он не может быть применён?

42. Каков физический смысл соотношения Мэнли-Роу для описания нелинейных систем?

43. Опишите физический смысл приближения заданного поля.

44. Что такое волновая расстройка?

45. От чего зависит эффективность преобразования первой гармоники излучения во вторую в нелинейном кристалле?

46. Какой физический смысл имеют инварианты системы уравнений генерации второй гармоники (ГВГ)?

47. Какие виды скалярного синхронизма возможны в положительном кристалле?

48. Какие виды скалярного синхронизма возможны в отрицательном кристалле?

49. Что такое векторный синхронизм?

50. Что такое индикатриса показателя преломления?

51. Что такое параметрическая генерация света?

52. Какие существуют способы перестройки частоты при параметрической генерации света? На чём основаны принципы перестройки частоты этими способами?

53. Какие требования предъявляются к нелинейным кристаллам для ГВГ и параметрической генерации света (ПГС)? На чём основаны эти требования?

54. Каким условиям необходимо удовлетворить, чтобы происходила эффективная ПГС?

55. От чего зависят частоты ω_1 и ω_2 при ПГС?

56. Чем отличается параметрическая люминесценция от обычной?

57. В каких явлениях проявляются нелинейные эффекты 3-го порядка?

58. Объяснить основные физические процессы, вызывающие нелинейные эффекты 3-го порядка.

59. При каком условии наблюдается мелкомасштабная и крупномасштабная самофокусировка?

60. Оптический импульс распространяется в кубически - нелинейной среде. Как среда влияет на него?

61. Что такое обращённая волна?

62. В чём заключается явление обращение волнового фронта?

63. Какие существуют способы записи и считывания голограмм?

64. Что такое динамическая голограмма?

65. Нарисовать диаграмму сложения волновых векторов при четырёхволновом смешении.

66. Каков физический механизм обращения волнового фронта при вынужденном рассеянии?

67. Дать определение теореме Мэнли.

68. Что такое переизлучение частот ω_1 и ω_2 .

69. Опишите эффект самоканализации.

70. Опишите многофотонное поглощение и многофотонный фотоэффект.

71. Опишите линейный электрооптический эффект - эффект Поккельса.

ЗАДАЧИ И ЗАДАНИЯ для практических занятий и самостоятельной работы

1. Световая волна падает на одноосный отрицательный нелинейный оптический кристалл КДР (дигидрофосфат калия) (KH_2PO_4). Выбрать ориентацию кристалла так, чтобы реализовалась генерация второй гармоники для взаимодействия типа $\infty \rightarrow e$. Показать от каких физических величин зависит интенсивность второй оптической гармоники.

2. Рассчитать угол фазового синхронизма для взаимодействия $\infty \rightarrow e$ (отрицательный кристалл KH_2PO_4 - КДР) для нелинейной компоненты χ_{312} . Длины волн падающего $\lambda = 0,6943$ мкм и преобразованного излучения $\lambda = 0,3472$ мкм. Показатели преломления для излучения с частотой v - 1,5054 и 1,5335; для частоты $2v$ - 1,5335 и 1,4879.

3. Рассчитать длину когерентного взаимодействия для кристалла кварца (для $2v$) в зависимости от угла распространения в кристалле q . Используется компонента χ_{111} . Показатели преломления 1,53442 и 1,54317 (длина волны 1,0417 мкм); 1,54680 и 1,55599 для удвоенной частоты. Определить тип взаимодействия.

4. Найдите условия выполнения фазового синхронизма для генерации второй гармоники лазера на длине волны 10.6 $\mu\text{м}$.

5. Какова связь между поляризацией нелинейной среды на разностной частоте и параметрической генерацией света?

6. Объяснить, как определить пару частот, которые будут усиливаться на выходе из параметрического генератора света.

7. Принцип работы используемой в лабораторной работе параметрической приставки - преобразователя.

8. Дать энергетическую характеристику параметрической генерации света при непрерывной и импульсной накачке.

9. Оценить напряжённость электрического поля на первой боровской орбите атома водорода.

10. Оценить интенсивность излучения, которое имеет максимальную напряжённость электрического поля равную напряжённости поля на первой боровской орбите атома водорода.

11. Записать формулу зависимости поляризованности среды от напряжённости электрического поля для:

- А) Кварцевого стекла;
- Б) Анизотропного кристалла
в случае слабого и сильного поля.

12. Оценить параметр нелинейности для лазерного импульса с энергией

$E = 10 \text{ мДж}$, длительностью $\tau = 40 \text{ пс}$, длиной волны $\lambda = 532 \text{ нм}$ в области фокальной перетяжки, которая находится в неферромагнитном веществе. Для оценки выбрать внутриатомное поле $E_{\text{ат}} = 5 \cdot 10^{11} \text{ В/м}$.

13. Вывести волновое уравнение электромагнитной волны большой интенсивности для анизотропной среды при больших интенсивностях с учётом оптической нелинейности среды.

14. Электрон в атоме находится в одномерной потенциальной яме, описываемой выражением:

$$U(x) = \frac{1}{2} m\omega_0^2 x^2 + \frac{1}{3} m\gamma x^3 \quad (1)$$

Здесь, x – смещение электрона относительно положения равновесия;

ω_0 – собственная частота свободных незатухающих колебаний электрона;

m – масса электрона;

γ – известный коэффициент, учитывающий асимметрию потенциальной ямы.

Концентрация атомов в веществе N_0 . На него воздействует монохроматическая электромагнитная волна:

$$E(t) = E_m \cos \omega t \quad (2)$$

А) Написать дифференциальное уравнение колебаний электрона с учётом слабого затухания, пропорционального скорости движения.

Б) 2) Вывести выражение для нелинейной восприимчивости $\gamma^{(2)} \omega$.

15. Допустим, что среда состоит из атомов, которые можно представить в виде независимых ангармонических осцилляторов. Их поведение которых описывается уравнением:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x + \gamma x^2 + \delta x^3 = -\frac{e}{m} E_m \cos \omega t$$

где ω_0 , γ , δ – известные константы осциллятора, E_m , ω – амплитуда и циклическая частота электромагнитной волны, воздействующей на него, e/m – удельный заряд электрона, N_0 – концентрация осцилляторов (электронов), x – смещение электрона относительно ядра.

А). Получить выражение для нелинейных диэлектрических восприимчивостей $\gamma^{(2)}(2\omega, \omega, \omega)$ и $\gamma^{(3)}(3\omega, \omega, \omega, \omega)$.

Б). Показать, что в таких нелинейных средах нарушается принцип неизменности частоты света при переходе из одной среды в другую.

В). Получить зависимость показателя преломления n от интенсивности излучения I .

Г). Получить выражение для неизменной поляризованности среды P_0 .

16. Определить сколько независимых тензоров нелинейной диэлектрической восприимчивости квадратично-нелинейной среды описывает взаимодействие трёх волн с частотами ω_1 , ω_2 и $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$? Определить общее количество компонент тензоров.

17. Определить количество независимых компонент тензора нелинейной диэлектрической восприимчивости квадратично-нелинейной среды в непоглощающей бездисперсионной среде без учёта сингонии кристаллов.

18. Записать зависимость поляризованности среды $\vec{P}(\omega_3)$ от $\vec{E}(\omega_1)$ и $\vec{E}(\omega_2)$ при генерации суммарной частоты $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ в непоглощающей бездисперсионной среде.

19. Записать зависимость поляризованности среды $\vec{P}(2\omega)$ от $\vec{E}(\omega)$ при ГВГ в непоглощающей бездисперсионной среде.

20. Вывести систему уравнений связанных амплитуд для генерации разностной частоты (ГРЧ).

21. Решить систему уравнений ГРЧ для случая, когда происходит монотонное усиление волны разностной частоты $\omega_3 = \omega_1 - \omega_2$. Учесть, что при $z = 0$ $I_1 \gg I_2$, а $I_2 = 0$.

22. Вывести закон изменения интенсивности волны суммарной частоты $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ при распространении волн частотой

ω_1 и ω_2 в нелинейном кристалле при неизменных амплитудах A_1 и A_2 .

23. Слабое излучение частотой ω_1 и амплитудой A_1 смещивается с накачкой частотой ω_2 с амплитудой A_2 , причём $A_2 \gg A_1$. Вывести закон изменения интенсивности волн с частотой ω_1 и суммарной частотой $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ при распространении в нелинейном кристалле при выполнении условия синхронизма ($\Delta k = k_3 - k_1 - k_2 = 0$).

24. Вывести уравнение связанных амплитуд при ГВГ.

25. Найти значения углов фазового синхронизма θ в кристалле KDP при ГВГ для длины волны рубинового лазера $\lambda = 694,3$ нм где $n_0^\omega = 1,506$; $n_0^{2\omega} = 1,534$; $n_e^\omega = 1,466$; $n_e^{2\omega} = 1,487$. Рассмотреть все возможные случаи.

26. Нарисовать k -диаграммы для определения углов синхронизма положительного и отрицательного одноосного кристаллов. Рассмотреть все возможные случаи.

27. Известны показатели преломления о- и е- волны для одноосного отрицательного кристалла LiNbO_3 для излучения $\lambda = 1064$ нм $n_{e1} = 2,155$ и для его 2-ой гармоники $n_{o2} = 2,325$ и $n_{e2} = 2,233$. Определить угол синхронизма при ГВГ. Рассмотреть все возможные виды синхронизма.

28. Оценить эффективную длину преобразования ω в 2ω в нелинейном кристалле в условиях предыдущей задачи.

29. Известны показатели преломления о- и е-волн для одноосного отрицательного кристалла прустита (Ag_3AsS_3) для излучения $\lambda = 1064$ нм $n_{o1} = 2,697$ и $n_{e1} = 2,503$ и для его 2-ой гармоники $n_{o2} = 2,730$ и $n_{e2} = 2,518$. Определить зависимость и построить график зависимости угла синхронизма θ от параметр $\xi = \lambda_1/\lambda_2$ при параметрической генерации света (ПГС), где λ_1 и λ_2 длины волн излучений сигнальной и холостой, соответственно. Накачка производится излучением второй гармоники $\lambda_0 = 532$ нм. Рассмотреть случай *oee*- синхронизма. Считать закон дисперсии линейным.

30. Вывести систему уравнений связанных амплитуд для ПГС и показать её общее решение при условии неизменной накачки.

31. Известны показатели преломления o - и e - волны для однородного отрицательного кристалла LiIO_3 для излучения $\lambda = 1064$ нм $n_{o1} = 1,857$ и $n_{e1} = 1,717$ и для его 2-ой гармоники $n_{o2} = 1,898$ и $n_{e2} = 1,748$. Определить зависимость и построить график зависимости угла синхронизма θ от параметра $\xi = \lambda_1/\lambda_2$ при ПГС в диапазоне прозрачности 0,3 - 6,0 мкм, где λ_1 и λ_2 – длины волн излучений сигнальной и холостой соответственно. Накачка производится излучением $\lambda_0 = 532$ нм. Рассмотреть случай ooe -синхронизма. Считать закон дисперсии линейным.

32. Излучение гелий-неонового лазера является гауссовым пучком с длиной волны $\lambda = 633$ нм. Оно проходит в плавленный кварц. Определить критическую мощность самофокусировки. Показатель преломления плавленного кварца определяется по формуле: $n = n_0 + n_2 I$, где $n_0 = 1,47$, $n_2 = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{Вт}$.

33. Определить оптическую длину пути интенсивной плоской световой волны в оптоволоконном световоде длиной $l = 1$ м из KDP, с постоянным для заданной длины волны коэффициентом поглощения $\mu = 0,05 \text{ см}^{-1}$, линейным показателем преломления $n_0 = 1,49$ и нелинейным показателем преломления $n_2 = 3,5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{Вт}$. Начальная интенсивность

- А) $I_0 = 10^7 \text{ Вт/см}^2$
- Б) $I_0 = 10^{15} \text{ Вт/см}^2$.

34. Гауссов импульс длительностью $\tau = 20$ пс (FWe^{-1}M) однородной интенсивности по радиусу распространяется в стержне из неодимового стекла. $n_0 = 1,53$; $n_2 = 3,3 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2/\text{Вт}$.

А) Определить ширину спектра импульса $\Delta\omega$ по критерию FWe^{-1}M . Найти $\Delta\omega/\omega$, если $\lambda = 1064$ нм.

Б) Определить дополнительное спектральное уширение импульса $\Delta\omega_{\max}$ при максимальной интенсивности $I_0 = 10^{15} \text{ Вт/см}^2$.

В) Определить критическую мощность излучения $P_{\text{кр}}$, при которой начинается самофокусировка.

35. Для волны накачки с частотой ω , имеющей обыкновенную поляризацию и распространяющейся под углом θ к оси z в плоскости XZ кристалла ниобата лития, найдите все компоненты вектора наведенной электрической поляризации на частоте 2ω .

3. ГЛАВА. ВЫНУЖДЕННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое спонтанное и вынужденное излучение?
2. Кем был открыт явление комбинационное рассеяние света?
3. Поясните принцип работы оптического рефлектометра.
4. Какой физический принцип лежит в основе рамановской спектроскопии?
5. Опишите эффект Ч.В. Рамана?
6. Из каких критериев выбирается лазерный источник излучения рамановского спектрометра?
7. В каких областях применяется рамановская спектроскопия?
8. Перечислите основные варианты исполнения волоконного усилителя на вынужденном комбинационном рассеянии.
9. Опишите структуру волоконного резонатора.
10. Что используют в качестве активных волокон на волоконном резонаторе?
11. Поясните принцип работы волоконного рамановского лазера.
12. Расскажите о эффекте Тиндаля.
13. Где используется эффект Тиндаля?
14. Расскажите о примерах эффекта Тиндаля.
15. Поясните принцип работы распределенного волоконно-оптического датчика температуры на комбинационном рассеянии.
16. Опишите рэлеевское рассеяние с точки зрения квантовой физики.
17. Чем объясняется кратковременное свечение при флуоресценции?
18. Поясните разницу между флуоресценцией и рассеяния.
19. Приведите примеры рэлеевского рассеяния.
20. Расскажите о рассеянии Густава Ми.
21. Чем поясняется белый цвет облаков?
22. Приведите примеры упругому рассеиванию света.

23. Расскажите о спонтанном и комбинационном рассеянии.
24. Интенсивность антистоксовой компоненты зависит от температуры, при этом стоксова компонента не чувствительна к температурным флуктуациям. Поясните причину.
25. Опишите принцип действия волоконно-оптических датчиков на рассеянии Мандельштама-Бриллюэна.
26. Поясните возможные способы детектирования сигнала спонтанного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.
27. Опишите рассеяние Мандельштама-Бриллюэна с точки зрения квантовой теории.
28. Поясните вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.
29. Что такое многофотонная ионизация?
30. Опишите процесс лавинной ударной ионизации.
31. Расскажите о электронной ионизации, ведущей к образованию плазмы.
32. При каких условиях происходит электронная ионизация, ведущей к образованию плазмы?
33. Опишите принцип детального равновесия Эйнштейна для излучения.
34. От каких физических параметров зависит порог пробоя?
35. Расскажите о гидродинамическом механизме расширения плазмы.
36. Расскажите о явлении – «прилипание электронов к нейтральным атомам и молекулам...».
37. Расскажите об оптическом пробое идеальных диэлектриков.
38. Поясните процесс образования плазмы при ионизации газа электронами.
39. Расскажите об оптическом пробое идеально чистых твердых тел (разрушение).
40. Расскажите о направлении лазерного термоядерного синтеза?
41. Что такое рефракция греющего излучения?
42. Опишите схему непрямого лазерного сжатия плазмы.

43. Каково состояние исследований по лазерному термоядерному синтезу в настоящее время?
44. Поясните практическую возможность перехода нагрева плазмы коротковолновым излучением?
45. Расскажите о тенденциях экспериментальных исследований последних лет по лазерному термоядерному синтезу.
46. Расскажите о «Токамак».
47. Кем впервые была высказана идея использования мощного лазерного излучения для нагрева плотной плазмы до термоядерных температур?
48. Расскажите о концепциях достижения высоких степеней сжатия веществ и получения больших коэффициентов усиления по энергии с помощью лазерных микровзрывов.
49. Какую роль играет «греющее излучение» для мишени?
50. Как отразится вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна и вынужденное комбинационное рассеяние на плазменную корону?



ЗАДАЧИ И ЗАДАНИЯ для практических занятий и самостоятельной работы

1. Как будут двигаться частицы изотропной однородной среды, при распространение в ней двух взаимно перпендикулярных продольных когерентных волн одинаковой амплитуды ?

2. В среде плотностью ρ распространяется вдоль оси X со скоростью v плоская звуковая волна. Уравнение волны $\xi = a \sin(\omega t - kx)$. Найти изменение давления в среде как функцию координаты и времени.

3. Параллельный пучок монохроматических лучей с длиной волны 662 нм падает на зачерненную поверхность и производит на нее давление $3 \cdot 10^{-7}$ Па. Определить концентрацию фотонов в световом пучке?

4. Определить энергию, импульс и массу фотона, длина волны которого соответствует видимой части спектра с длиной волны 500 нм.

5. Определить энергию, массу и количество движения фотона, если соответствующая ему длина волны равна 0,16 нм.

6. Температура «голубой» звезды $3 \cdot 10^4$ К. Определить интегральную интенсивность излучения и длину волны, соответствующую максимуму излучательной способности.

7. Плотность потока световой энергии равна 300 Вт/м². Определить давление света, падающего нормально на зеркальную поверхность.

8. Давление монохроматического света ($\lambda = 600$ нм) на черную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно 10^{-7} Н/м². Сколько фотонов падает на 1 см² этой поверхности за 1 с?

9. Поток световой энергии (всех длин волн), падающий нормально на зеркальную поверхность площадью 10 см², равен 0,6 Вт. Вычислить величину светового давления.

10. Как будут двигаться частицы изотропной однородной среды, при распространение в ней двух взаимно перпендикулярных продольных когерентных волн одинаковой амплитуды ?

11. Плоская монохроматическая волна с интенсивностью I_0 и длиной волны λ падает нормально на непрозрачный экран с круговым отверстием радиуса R_0 ($R_0 \gg \lambda$). Построить качественную зависимость интенсивности I на оси отверстия за экраном от расстояния b до экрана. Указать характерные значения интенсивностей в точках максимальной и минимальной освещенности.

12. Плоская монохроматическая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на непрозрачный экран в виде полуплоскости с вырезом на краю в форме полукруга. Найти интенсивность света в точке P на перпендикуляре к центру полукруга, для которой граница выреза совпадает с границей первой зоны Френеля.

13. Показатель преломления сероуглерода для света с длинами волн 0,509; 0,534; 0,589 мкм равен, соответственно, 1,647; 1,640; 1,630. Вычислить фазовую и групповую скорости света вблизи $\lambda = 0,534$ мкм.

14. Главные показатели преломления и поглощения железа равны 1,51 и 1,63 соответственно. Найти инварианты Кеттелера и значения показателей преломления и поглощения для углов падения 30° и 45° .

15. Степень поляризации частично поляризованного света $P = 0,25$ интенсивностью I_0 . Определить интенсивность прошедшего пучка, если падающий свет линейно поляризован, причем плоскость поляризации его совпадает с плоскостью падения. Найти степень поляризации прошедшего через пластинку пучка, если падающий свет – естественный.

16. Коэффициент отражения от полуплоскости зависит от частоты по закону $R(\omega)$. Найти распределение по спектру теплового излучения от полуплоскости, если ее температура T .

17. Световой импульс излучения лазера образован в результате интерференции $N + 1$ эквидистантных продольных мод, фазы которых синхронизированы, причем $\phi_{n+1} - \phi_n = \phi_0$. Длина резонатора ℓ . Найти длительность сверхкороткого светового импульса.

18. Импульс лазерного излучения с плотностью потока энергии $I_0 = 108$ Вт/см² падает на толстую металлическую мишень. Полагая, что вся энергия излучения поглощается в металле,

оценить минимальную длительность импульса, при которой поверхность мишени достигнет температуры плавления T_0 .

19. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их плавными плоскостями равен α . Как поляризатор, так и анализатор поглощают и отражают 8 % интенсивности падающего на них света. Луч, вышедший из анализатора, имеет 9 % интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол α .

20. Кварцевая пластиинка, вырезанная параллельно оптической оси, помещена между двумя скрещенными николями так, что ее оптическая ось составляет угол 45° с главными направлениями николей. При какой минимальной толщине пластиинки свет с $\lambda_1 = 0,643$ мкм будет проходить через эту систему с максимальной интенсивностью, а свет с $\lambda_2 = 0,564$ мкм будет сильно ослаблен? Разность показателей преломления для обеих длин волн одинакова и равна $n_e - n_0 = 0,009$.

21. Естественный свет падает под углом Брюстера на поверхность стекла. Найти коэффициент отражения и степень поляризации преломленных лучей.



4. ГЛАВА. ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите виды лазерной обработки металлов и сталей.
2. Каковы особенности структурных превращений при лазерном нагреве сталей?
3. Запишите уравнение теплопроводности для условий лазерной обработки.
4. Как зависят параметры субструктур стаей и механические свойства от скорости движения фронта кристаллизации при лазерной обработке?
5. Поясните область применения лазерной обработки.
6. В чем заключается принцип селективного лазерного спекания порошков?
7. Что такое непрерывный режим лазерной обработки?
8. Какова форма зоны оплавления?
9. Что происходит с поверхностным слоем, когда достигается температура плавления?
10. Может ли на поверхности достигаться температура больше, чем температура кипения?
11. Перечислите области применения лазерных технологий в металлах.
12. Поясните процесс упрочнения металлов?
13. Расскажите о лазерной сварке.
14. Расскажите о лазерной пайке.
15. Что такое легирование?
16. Поясните процесс оплавления поверхностного слоя.
17. Поясните процесс получения металлических стекол.
18. Расскажите о процессах получения отверстий и лазерной обработки пленок.
19. Что понимают под термохимической обработкой.
20. Расскажите о лазерно-плазменной обработке.
21. Опишите процесс лазерной резки.
22. Назовите принцип работы газолазерной резки.
23. Поясните процесс начала термической обработки железоуглеродистых сплавов при лазерной закалке.
24. К чему переводит систему на диаграмме состояний Fe –

С, перегрев над точкой равновесия фаз?

25. Что такое аустенит?

26. Расскажите о процессе образования аустенита. Почему процессе образова

ния аустенита является эндотермическим?

27. Опишите характерные особенности мартенсита.

28. Поясните процесс превращения аустенита в мартенсит.

29. Чем обусловлено меньшие значения удельной энергии поверхностной обработки материалов относительно сварки и пробивки отверстий.

30. Расскажите о вакуумно-лазерном напылении.

31. Расскажите о свойствах цементита и феррита.

32. Перечислите недостатки лазерного упрочнения поверхности.

33. Опишите этапы воздействия лазерного излучения на твердое тело и диффузионные, химические и фазовые превращения в материале.

34. Какие параметры лазерной обработки оказывают наибольшее влияние на структуру и свойства поверхностного слоя?

35. Расскажите о практике применения лазерного упрочнения стальных сплавов и области его применения.

36. Перечислите основные факторы воздействия при термоупрочнении различных сталей.

37. Расскажите о применении лазерной технологии для улучшения качества рабочих поверхностей штамповного инструмента.

38. Опишите процесс закалки чугунных деталей излучением твердотельного лазера.

39. Назовите узлы и детали корпусов, аппаратуры бурового оборудования которые подвергаются к закалке излучением твердотельного лазера.

40. Расскажите о селективной лазерной обработке порошков.

41. Поясните процесс селективного лазерного спекания порошков.

42. Что такое SLS- технология?

43. С чем связан успех развития SLS- технологий?

44. Назовите средние размеры частиц порошка в SLS- процессах.
45. Назовите недостатки SLS- технологии.
46. Расскажите о структуре SLS-слоев системы WC – Co, пропитанных медным сплавом.
47. Расскажите о структурно-фазовых превращениях в SLS- процессах.
48. Расскажите об особенностях метода высокоскоростного лазерного отжига.
49. Расскажите о технологии лазерного высокоскоростного компактирования.
50. Назовите виды лазерной обработки металлов и сталей.
51. Каковы особенности структурных превращений при лазерном нагреве сталей?
52. Запишите уравнение теплопроводности для условий лазерной обработки.
53. Как зависят параметры субструктуры сталей и механические свойства от скорости движения фронта кристаллизации при лазерной обработке?
54. Поясните область применения лазерной обработки.
55. Что такое непрерывный режим лазерной обработки?
56. Какова форма зоны оплавления?
57. Что происходит с поверхностным слоем, когда достигается температура плавления?
58. Может ли на поверхности достигаться температура больше, чем температура кипения?



ЗАДАЧИ И ЗАДАНИЯ для практических занятий и самостоятельной работы

1. Определить мощность и энергию импульсов излучения N_2 -лазера длительностью $\tau = 10^{-8}$ с, необходимые для достижения плотности мощности излучения в фокусе $q_0 = 10^7$ Вт/см², если расходимость пучка 1 мрад, а фокусное расстояние оптической системы 3 см.

2. Привести соотношения между импульсной и средней мощностью излучения, плотностью энергии и плотностью мощности. Привести характерную зависимость порогов разрушения (плотности мощности) от длительности импульса.

3. Вывести формулу для определения разности частот между ближайшими продольными модами резонатора.

4. Определить, какая доля лазерного излучения находится внутри круговой области $r \leq r_0$, где r_0 – характерный размер гауссова распределения плотности мощности излучения в пучке $q = q_0 e^{-(r/r_0)^2}$.

5. Определить радиус области, в которой сосредоточено 50%, 90% всей энергии гауссова пучка, если задан характерный размер гауссова распределения r_0 .

6. Рассчитать параметры механического прерывателя, представляющего

собой вращающийся диск с прорезью (размеры прорези и угловую скорость вращения диска), если из импульсов длительностью 100 мкс необходимо получить импульсы излучения длительностью 40 мкс при частоте следования импульсов 250 Гц.

7. Определить расходимость излучения многомодового лазера в зависимости от числа генерируемых поперечных мод.

8. Доказать, что при угле падения, равном углу Брюстера, угол между отраженным и преломленным лучами равен $\pi/2$.

9. Показать, какой режим, импульсный или непрерывный, более эффективен для лазерной обработки.

10. Рассмотреть различные методы обеспечения импульсного режима воздействия (режимы свободной генерации, модуляции добротности и синхронизации мод) и сравнить их по следующим параметрам: КПД, энергия импульса, длительность импульса, средняя и импульсная мощность, частота следования импульсов.

11. Построить ход лучей лазерного пучка через линзу с фокусным расстоянием f . Определить зависимость диаметра пятна в фокусе d_0

ходимости лазерного излучения θ и фокусного расстояния линзы f .

12. Показать графически, зависит ли размер фокального пятна от расстояния между лазером и фокусирующей оптической системой и от угла расходимости лазерного излучения θ .

13. Определить расходимость пучка рубинового лазера, необходимую для получения на поверхности Луны пятна диаметром 3 км, и предложить оптическую схему системы.

14. Определить расходимость излучения лазера, обеспечивающую пятно диаметром 0,5 мм на поверхности Фобоса, если лазер удален от его поверхности на расстояние 100 м. Предложить оптическую схему.

15. Пояснить на примере противоречие между разрешающей способностью и полем изображения.

16. Рассчитать оптическую схему контактного способа обработки и сравнить с проекционным способом при увеличении $\beta_{\text{пр}} = 1$. Образец – пленка хрома на стеклянной подложке.

17. Вывести формулу для геометрической глубины резкости при фокусировке лазерного излучения.

18. Рассчитать пространственно-геометрические характеристики лазерных пучков (одномодового, многомодового, дифракционно-ограниченного и теоретические): угол расходимости, размер фокального пятна и глубину резкости.

19. Провести габаритный расчет оптической системы для фокусировки излучения от оптического многомодового волокна с внутренним диаметром 400 мкм в пятно диаметром 200 мкм. Угол расходимости излучения 0,1 рад, расстояние от торца волокна до плоскости обработки 10 см.

20. Оценить плотности мощности лазерного излучения, необходимые для нагревания алюминия, меди, вольфрама, железа до температур плавления и температур кипения излучением лазера с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм при длительностях импульса излучения $\tau = 10^{-3}$ с и

$$\tau = 10^{-7} \text{ с.}$$

21. Определить диапазон скоростей сканирования $V_{\text{ск}}$ пучка излучения непрерывного лазера при фокусировке его излучения в

пятно диаметром 100 мкм, при которых время эффективного воздействия находится в диапазоне $10^{-3} - 10^{-9}$ с.

22. Оценить толщину прогретого слоя материалов – стали, хрома, пластмассы и керамики – при воздействии на них излучения лазеров:

- А) Nd:YAG, длительность импульса $\tau = 10^{-7}$ с,
- Б) Nd:YAG, $\tau = 10^{-8}$ с,
- В) Nd:YAG, непрерывный режим, скорость сканирования 40 см/с, диаметр облученной области $d = 10$ мкм. Объяснить зависимость значения q_0 от свойств материалов. Привести зависимость плотности мощности излучения, необходимой для нагревания поверхности до определенной температуры, от длительности импульса.

23. Оценить плотности мощности лазерного излучения q_0 , необходимые для нагревания поверхностей керамики, стекла, пластмассы

А) до температуры размягчения излучением лазера с длиной волны

$\lambda = 1,06$ мкм и длительностью импульса $\tau = 10^{-3}$ с и $\tau = 10^{-7}$ с;

Б) до температуры разрушения непрерывным излучением Nd:YAG-

лазера при размере области облучения $r_0 = 100$ мкм.

24. Оценить плотности мощности лазерного излучения q_0 и импульсные мощности P лазера на молекулярном азоте (длительность импульса $\tau = 10^{-8}$ с), необходимые для поверхностного окисления, плавления и испарения меди при радиусах облученной области $r_0 = 5$ мкм и 50 мкм.

25. Определить время воздействия на объект излучения непрерывного лазера, размер пятна которого d_0 , при скорости сканирования $V_{ск}$. Провести расчеты для $d_0 = 1; 10; 100$ мкм и $V_{ск} = 1$ см/с; 1 м/с.

26. Построить зависимость скорости испарения железа от температуры

поверхности. Определить, во сколько раз изменится скорость испарения при изменении температуры от комнатной до температуры кипения.

27. Оценить плотность фотонов, давление света на мишень и плотность мощности излучения при нормальном падении света и его

полном отражении от поверхности при диаметре облученной области 1 см^2 для следующих значений длительности импульса τ , энергии импульса W и длины волны излучения λ :

- А) $\tau = 10^{-3} \text{ с}$, $W = 1 \text{ Дж}$, $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$;
- Б) $\tau = 10^{-9} \text{ с}$, $W = 10^{-3} \text{ Дж}$, $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$;
- В) $\tau = 10^{-15} \text{ с}$, $W = 10^{-5} \text{ Дж}$, $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$;
- Г) $\tau = 10^{-13} \text{ с}$, $W = 10^{-6} \text{ Дж}$, $\lambda = 0,8 \text{ мкм}$ (титан-сапфировый лазер);
- Д) $\tau = 10^{-14} \text{ с}$, $W = 10^{-3} \text{ Дж}$, $\lambda = 0,193 \text{ мкм}$ (ArF эксимерный лазер).

28. Оценить плотности мощности лазерного излучения q_0 , необходимые для окисления поверхностей хрома, никеля, висмута, ванадия, меди:

- А) импульсным лазерным излучением на длине волны $1,06 \text{ мкм}$;
- Б) непрерывным излучением Nd:YAG-лазера;
- В) непрерывным и импульсным ($\tau = 1 \text{ мкс}$) излучением CO_2 -лазера при размере области облучения $r_0 = 500 \text{ мкм}$.

Сделать выводы о термохимической чувствительности этих металлов на длине волны $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$ при длительности импульса 1 мкс .

29. Определить зависимость размера зоны теплового воздействия на поверхности объекта от скорости сканирования излучения непрерывного лазера. Построить график этой зависимости.

30. Обосновать применение CO_2 -лазера для обработки Al, Cu (сильное отражение). Рассчитать пороговые плотности мощности по двум схемам:

- А) испарение металла,
- Б) окисление и испарение металла.

31. Определить, произойдет ли локальное испарение поверхности вольфрама при фокусировании на ней пучка непрерывного Nd:YAG-лазера мощностью 100 Вт (фокусное расстояние оптической системы расходимости пучка $f = 5 \text{ см}$) при расходимости пучка

- А) $\theta = 2 \text{ мрад}$;
- Б) $\theta = 20 \text{ мрад}$.

32. Найти давление отдачи при лазерном испарении железа, если скорость его удаления 1 м/с , а скорость пара у поверхности 1 км/с .

33. Определить связь импульса отдачи, возникающего при

испарении материала с помощью лазерного излучения, и давления отдачи с плотностью мощности.

34. По формуле Френкеля найти максимальное значение dV/dT и определить его величину применительно к конкретным процессам испарения, окисления, диффузии.

35. Определить максимальную скорость резки V_{max} медной фольги толщиной $h = 0,1$ мм:

А) непрерывным излучением Nd:YAG-лазера мощностью $P_0 = 500$ Вт при радиусе пятна $r_0 = 50$ мкм;

Б) импульсным излучением Nd:YAG-лазера со средней мощностью $P_{cp} = 500$ Вт, $\tau = 10^{-7}$ с; частота следования импульсов $f_u = 10$ кГц, $r_0 = 50$ мкм, угол схождения излучения $\gamma = 3^0$.

36. Определить необходимые и достаточные условия, при которых лазер может использоваться для резки.

37. Найти соотношение жидкости и пара в продуктах разрушения, образующихся при лазерном сверлении отверстий, используя двухфазную феноменологическую модель образования отверстия.

38. Определить теплоту разрушения L_p при двухфазном разрушении и заданной схеме обработки (используя геометрическую модель образования отверстия).

39. Определить предельную глубину отверстия в стали, связанную с расфокусировкой излучения, при $\gamma = 0,2$ рад, $q = 10^8$ Вт/см², $\tau = 10^{-3}$ с, $r_0 = 10$ мкм.

40. Оценить скорость испарения материала (скорость роста глубины отверстия) в стали, вольфраме при поглощенной плотности мощности излучения $q = 10^8$ Вт/см².

41. Пользуясь законом сохранения импульса, оценить давление отдачи пара по известным экспериментальным значениям толщины испаренного слоя алюминия и длительности лазерного импульса. Построить зависимость толщины испаренного слоя от времени.

42. Определить значения плотности мощности излучения, необходимые для получения отверстия в стали глубиной 1 мм ($\tau = 10^{-3}$ с, $\gamma = 0,2$ рад). Вывести зависимость поглощенной плотности мощности лазерного излучения от глубины отверстия.

43. Определить зависимость глубины и радиуса отверстия от параметров обработки (энергии лазерного импульса, угла расхождения излучения после фокуса оптической системы) при $h(t) \gg r_0$ и при $h(t) \ll r_0$ по геометрической модели.

44. Определить параметры оптической системы (γ и f) для профильной резки медицинских стентов («протезов» кровеносных сосудов) – металлических трубок диаметром 1 и 2 мм с толщиной стенок 100 мкм, при которых исключаются повреждения противоположной стенки трубки, когда ее передняя поверхность испаряется.

45. Назвать причины отклонения качества отверстий от идеальных.

46. Определить глубину отверстия h , его диаметр d и отношение h/d при многоимпульсной обработке, используя геометрическую модель образования отверстия.

47. Оценить параметры многоимпульсного режима обработки для получения в стали отверстий глубиной 1 мм и диаметром 100 мкм при скорости испарения $V_u = 1$ км/с. Расчет провести для импульсов излучения длительностью 1 мс, 0,1 мкс, 10 нс.

48. Сравнить пороги резки для импульсного и непрерывного Nd:YAG- лазера и скорости резки при толщине пластины $d = 1$ мм и при одной и той же средней мощности $P = 500$ Вт.

49. Проанализировать возможность использования полупроводникового лазера (мощность 100 мВт, расходимость 250×150 мрад) для резки бумаги.

50. Рассчитать изменение параметров установки при использовании оптической системы с автоподстройкой фокуса при заданной глубине и диаметре отверстий.

51. Определить максимальную допустимую скорость сканирования лазерного пучка при лазерной гравировке испарением поверхности хрома излучением непрерывного Nd:YAG-лазера мощностью 100 Вт при радиусе пятна облученной области $r_0 = 0,3$ мм. Оценить скорости сканирования, необходимые для удаления слоя хрома толщиной 10 мкм и 100 мкм.

52. Оценить скорость нагрева и охлаждения при лазерной импульсной закалке стали.

53. Определить диапазон допустимых значений плотности мощности излучения для сварки «встык» двух пластин из фольги из золота и хрома толщиной 0,1 мм излучением Nd:YAG- лазера ($\tau = 10^{-4}$ с). Считать, что до начала расплавления одной из пластин они теплоизолированы друг от друга, после чего температуры пластин в облученной области равны. Облученная область симметрична относительно сварного шва.

54. Предложить материал пленки для осуществления лазерного термомеханического упрочнения стали в твердой фазе путем испарения нанесенной на поверхность пленки. Оценить диапазон значений плотности мощности излучения и рассчитать толщину пленки.

55. Определить максимальную скорость сварки стальных изделий излучением непрерывного CO_2 -лазера мощностью 1 кВт при радиусе пятна облучения на поверхности 0,5 мм.

56. Вывести закон изменения плотности мощности лазерного излучения по мере смещения сварочной ванны вниз (прогиб и проплавление), вверх (тепловое расширение).

57. Определить плотность мощности излучения, необходимую для расплавления пленки хрома толщиной 0,1 мкм на стеклянной подложке при воздействии N_2 -лазера с длительностью импульса 10 нс.

58. Определить скорость сканирования при обработке металлической пленки на стекле излучением импульсного Nd:YAG-лазера при $\tau = 10^{-8}$ с, если диаметр зоны воздействия $d_0 = 10$ мкм, погрешность ширины реза 0,1 мкм.

59. Как изменится соотношение между энергиями, затрачиваемыми на испарение пленки и на нагрев подложки, по мере сокращения длительности импульса?

60. Найти плотность мощности излучения, необходимую для расплавления пленки Cu толщиной 0,1 мкм на керамической подложке при сканировании в непрерывном режиме со скоростью 1 см/с пучком Nd:YAG- лазера при размере облученной области 15 мкм.



5. ГЛАВА. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните области применения лазеров.
2. Применение лазерной техники в метрологии. Приведите примеры.
3. Применение лазеров в космических исследованиях.
4. Применение лазеров в системах передачи энергии.
5. Применение лазеров в медицине.
6. Применение лазеров связи и информационных технологиях.
7. Применение лазеров в вооружении.
8. Применение лазеров в культуре.
9. Применение лазеров в быту.
10. Достоинства работы лазера в оптоволоконных сетях.
11. Эффективность применения лазера в сельском хозяйстве.
12. Кратко опишите эффект голограммы.
13. Поясните запись и воспроизведение голограмм.
14. Лазерная световая обработка объектов.
15. Расскажите об основных характеристиках лазерных приемо-передатчиков.
16. Перечислите свойства лазерного скальпеля.
17. Назовите основные типы лазеров, традиционно используемые в лазерной медицине.
18. Расскажите о лазерной световой обработке объектов.
19. Расскажите о приемах лазерной агротехники.
20. Расскажите о перспективах лазерной интерферометрии.



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. При переходе атома с низшего энергетического уровня на высший:

- а) атомом поглощается фотон,
- б) атомом испускается фотон,
- в) атомом испускается два когерентных фотона.
- г) происходит явление термоэлектронной эмиссии.

2. Работа лазера основана на:

- а) явлении индуцированного излучения,
- б) явлении фотоэффекта,
- в) рассеивании света,
- г) дисперсии света.

3. При переходе атома из высшего энергетического уровня на низший:

- а) атомом испускается фотон,
- б) атомом поглощается фотон,
- в) атомом испускается два когерентных фотона,
- г) атом рассеивает фотон.

4. Лазер как физическая система представляет собой:

- а) активное вещество помещенное в резонатор,
- б) поглощающее вещество и резонатор,
- в) систему накачки, активный элемент,
- г) устройство для преобразования энергии.

5. На каком веществе работал первый мазер?

- а) Неоне,
- б) Гелии,
- в) Цезии,
- г) Метане.

6. Когда были созданы первые приборы, работающие по лазерному принципу?

- а) 1954 г.
- б) 1958 г.
- в) 1960 г.
- г) 1962 г.

7. Открытый оптический резонатор состоит из:

- а) двух зеркал,

- б) одного зеркала и интерференционного фильтра,
- в) трех зеркал,
- г) четырех зеркал.

8. Селекцию поперечных мод можно осуществить с помощью:

- а) диафрагмы,
- б) интерферометра Фабри – Перо,
- в) дисперсионной призмы,
- г) дифракционной решеткой.

9. Селекцию поперечных мод можно осуществить с помощью:

- а) интерферометра Фабри – Перо,
- б) диафрагмы,
- в) дисперсионной призмы,
- г) дифракционной решеткой.

10. Главная особенность кольцевых резонаторов состоит в том, что:

- а) их модами являются бегущие волны,
- б) их модами являются стоящая волна,
- в) все моды составляют две группы встречных волн, которые взаимодействуют друг с другом,
- г) для их описания не надо учитывать поляризационные свойства резонатора.

11. Спектр оптического резонатора:

- а) дискретный,
- б) непрерывный,
- в) полосатый,
- г) может быть и непрерывным и полосатым.

12. Режим модулированной добротности лазера можно обеспечить:

- а) дисперсионной призмой,
- б) дифракционной решеткой,
- в) диафрагмой,
- г) введением в резонатор лазера цветного светофильтра.

13. Непрерывный режим работы лазера обеспечивается

- а) источником накачки,
- б) резонатором,
- в) модулятором,
- г) дисперсионными элементами резонатора лазера.

14. Накачка в газовых лазерах может производиться вследствие:

- а) электрического разряда,
- б) химической реакции,
- в) воздействия мощного источника света,
- г) перехода электрона с одного типа полупроводника в другой.

15. Газовые лазеры могут работать:

- а) в непрерывном режиме,
- б) в режиме свипирования частоты,
- в) модулированной добротности,
- г) во всех режимах перечисленных п. а, б, в.

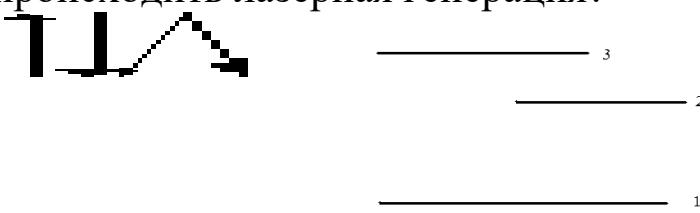
16. Накачка в оптических лазерах может производиться вследствие:

- а) перехода электрона с одного уровня на другой,
- б) химической реакции,
- в) воздействия мощного источника света,
- г) электрического разряда.

17. Естественная ширина спектральной линии лазерного перехода СО₂лазера составляет 50 МГц. Чему равно среднее время нахождения частиц в данном возбужденном состоянии?

- а) $2 \cdot 10^{-8}$ сек.
- б) $3,2 \cdot 10^{-9}$ сек.
- в) $6,28 \cdot 10^{-8}$ сек.
- г) $3,14 \cdot 10^{-9}$ сек.

18. Активная среда лазера работает по трехуровневой схеме накачки. При переходах между какими уровнями среды может происходить лазерная генерация?



- а) 3 → 2.
- б) 2 → 3.
- в) 3 → 1.
- г) 2 → 1.

19. Активная среда работает по трехуровневой схеме накачки. Концентрация активных частиц среды равна n. Каковы

должны быть населенности энергетических уровней n_1 , n_2 , n_3 для получения усиления в среде?

- а) $n_2 > n/2$.
- б) $n_1 > n/2$.
- в) $n_3 > n_1$.
- г) $n_3 > n_2$.

20. Взаимодействие света с веществом имеет принципиально вероятностный характер. В квантовой теории взаимодействия света и вещества вводится понятие вероятности перехода, которое отличается от понятия вероятности, используемого в математике. Какова размерность физической величины «вероятность перехода», используемой в лазерной физике?

- а) не имеет размерности.
- б) сек.
- в) сек^{-1} .
- г) сек^2 .

21. Взаимодействие света с веществом имеет принципиально вероятностный характер. В квантовой теории взаимодействия света и вещества вводится понятие вероятности перехода, которое отличается от понятия вероятности, используемого в математике. Какой физический смысл имеет понятие «вероятность перехода», используемое в лазерной физике?

- а) Число квантов испускаемых или поглощаемых при переходе между энергетическими уровнями среды.
- б) Отношение числа испущенных или поглощенных квантов к числу взаимодействующих со светом частиц.
- в) Число квантов испускаемых или поглощаемых при переходе между энергетическими уровнями среды в секунду.
- г) Отношение числа взаимодействующих со светом частиц к числу испущенных или поглощенных квантов.

22. Накачка в химических лазерах может производиться вследствие:

- а) химической реакции,
- б) воздействия мощного источника света,
- в) электрического разряда,
- г) перехода электрона с одного типа полупроводника на другой.

23. На чем основана работа рубинового лазера?

- а) на том факте, что в различных возбужденных состояниях атом может находиться в течение неодинаковых промежутков времени,
- б) на явлении фотоэффекта,
- в) на том, что в этом лазере используется не два зеркала как в обычном,
- а три,
- г) правильного ответа нет.

24. На чем основана работа неодимового лазера ?

- а) на том факте, что в различных возбужденных состояниях атом может находиться в течение неодинаковых промежутков времени.
- б) на явлении фотоэффекта,
- в) на том, что в этом лазере используется не два зеркала как в обычном,
- а три,
- г) правильного ответа нет.

25. Инжекционные лазеры относятся к

- а) полупроводниковым лазерам,
- б) эксимерным лазерам,
- в) твердотельным лазерам,
- г) жидкостным лазерам.

26. Инжекционный лазер это:

- а) наиболее распространенная разновидность полупроводникового лазера, отличающаяся использованием инжекции носителей заряда через *p-n*- переход.
- б) твердотельные лазеры,
- в) лазеры с накачкой ионизирующей радиацией,
- б) лазеры на основе контакта полупроводника и диэлектрика.

27. Эксимерные лазеры излучают

- 1) фиолетовое излучение,
- 2) красное излучение,
- 3) ИК излучение,
- 4) желтое излучение.

28. Лазеры на красителях это

- а) жидкостные лазеры,
- б) полупроводниковые лазеры,

- в) твердотельные лазеры,
- г) химические лазеры.

29. Лазеры на красителях имеют:

- а) широкий спектр излучения и позволяют перестраивать частоту

,

- б) фиксированную частоту излучения,

в) позволяют обеспечивать плавную перестройку частоты в толькоочень узком диапазоне,

- г) очень широкую диаграмму направленности.

30. Параметрические генераторы света имеют:

- а) фиксированную частоту излучения,

б) позволяют обеспечивать плавную перестройку частоты излучения,

- в) очень широкую диаграмму направленности,

- г) очень широкую диаграмму направленности.

31. ВКР лазеры имеют:

- а) большую мощность

- б) малую мощность

- в) среднюю мощность

- г) очень низкую мощность

32. ВКР лазеры имеют:

- а) фиксированную частоту излучения,

б) позволяют обеспечивать плавную перестройку частоты в очень узком диапазоне,

в) позволяют обеспечивать плавную перестройку частоты в достаточношироком диапазоне,

г) широкий спектр излучения и позволяют перестраивать частоту.

33. Взаимодействие лазерного излучения с веществом:

а) определяются характеристиками лазерного излучения характеристиками вещества,

б) определяются только характеристиками лазерного излучения,

- в) определяются только характеристиками вещества,

- г) определяются агрегатным состоянием вещества.

34. Взаимодействие лазерного излучения с веществом:

- а) сложный, многофакторный процесс,

- б)сводится к процессу эффекту лазерного давления.

в) является многофотонным эффектом,
г) сводится к процессу поглощения веществом лазерного излучения.

35. Лазерные технологии основаны на:
а) уникальных характеристиках лазеры,
б) нанотехнологиях,
в) на химических особенностях строения материала,
г) способности веществ вращать плоскость поляризации.

36. Лазерные технологии не могут использованы для:
а) анализа прецессии магнитных моментов молекул, б) сверления отверстий,
в) сварки,
г) пайки.

37. Взаимодействие лазерного излучения с живой материей
а) определяются характеристиками лазерного излучения характеристиками живой материи,
б) определяются только характеристиками лазерного излучения.
в) определяются только характеристиками живой материи,
г) определяются агрегатным состоянием вещества.

38. Взаимодействие лазерного излучения с живой материей
а) сложный, многофакторный процесс,
б) сводится только к процессу поглощения веществом лазерного излучения,
в) сводится только к процессу эффекту лазерного давления,
г) является многофотонным эффектом.

39. Медицинская лазерная техника:
а) может быть использована только в стационарах, б) применяется в домашних условиях,
в) использоваться в поликлиниках,
г) использовать во всех случаях перечисленных выше.

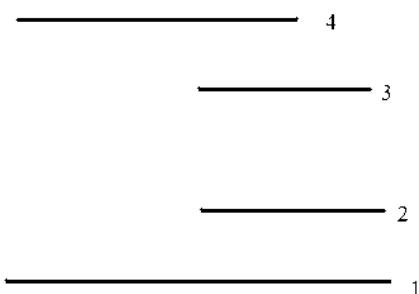
40. Медицинская лазерная техника
а) требует соблюдения правил безопасности при применении,
б) очень массивна,
в) очень компактна,
г) соответствует перечисленным в п. а и б особенностям.

41. Активная среда лазера работает по трехуровневой схеме накачки. Каково должно быть соотношение между вероятностями

переходов P_{31} , P_{32} , P_{21} , P_{13} , P_{12} , P_{23} для получения инверсной населенности между 1 и 2 уровнями энергии?

- а) $P_{32} > P_{21}, P_{31}$.
- б) $P_{21} > P_{23}, P_{31}$.
- в) $P_{12} > P_{13}, P_{23}$.
- г) $P_{13} > P_{23}, P_{31}$.

42. Активная среда лазера работает по четырехуровневой схеме накачки. Концентрация активных частиц среды равна n . Какова должна быть температура активной среды T , для эффективной генерации лазера, если разность энергий между уровнями 1 и 2, равной E ?



- а) $E \ll kT$,
- б) $E \gg kT$
- в) $E \sim kT$.
- г) $E \gg 1/(kT)$.

43. Под каким углом к оси резонатора ϕ должны быть расположены плоскости брюстеровских окошек газоразрядной трубы газового лазера? Показатель преломления стекла, из которого изготовлены окошки, равен $n=1,51$.

- а) $\phi = 56^\circ$.
- б) $\phi = 34^\circ$.
- в) $\phi = 60^\circ$.
- г) $\phi = 30^\circ$.

44. Под каким углом к оси резонатора должны быть наклонены брюстеровские торцы активного стержня из рубина цилиндрической формы? Показатель преломления рубина на длине волны генерации равен 1,76.

- а) $\phi = 56^\circ$.
- б) $\phi = 34^\circ$.
- в) $\phi = 60^\circ$.

г) $\phi = 30^\circ$.

45. Какова должна быть оптическая толщина слоев в многослойном диэлектрическом зеркале, используемом в лазере, работающем на длине волны λ , для создания резонатора?

- а) λ .
- б) $\lambda/2$.
- в) $\lambda/4$.
- г) $\lambda/8$.

46. Коэффициент вредных потерь некоторого лазера на рубине равен $0,02 \text{ см}^{-1}$. Определите оптимальный по выходной мощности непрерывного лазера коэффициент отражения зеркала плоского резонатора в случае использование активной среды длиной 8 см. Считать, что оптимальное зеркало резонатора определяется условием равенства полезных и вредных потерь резонатора, а одно из зеркал резонатора полностью отражает падающее на него излучение.

- а) 0,93.
- б) 0,83.
- в) 0,73.
- г) 0,63.

47. Коэффициент вредных потерь плоского двухзеркального резонатора некоторого гелий-неонового лазера равен $2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$. Определите оптимальный по выходной мощности коэффициент отражения зеркала лазерного резонатора. Длина газоразрядной трубы лазера 70 см. Считать, что оптимальное зеркало резонатора определяется условием равенства полезных и вредных потерь резонатора, а одно из зеркал резонатора полностью отражает падающее на него излучение.

- а) 0,92.
- б) 0,95.
- в) 0,97.
- г) 0,98.

48. Пороговое условие стационарной генерации лазера определяется:

а) Равенством коэффициента усиления света, прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.

- б) Равенством коэффициента усиления активной среды сумме полезных и вредных потерь резонатора.
- в) Равенством коэффициента усиления активной среды полезным потерям на зеркалах резонатора.
- г) Равенством коэффициента усиления света, дважды прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.

49. Нестационарная генерация лазера при импульсной накачке или после включения лазера с нерерывной накачкой возникает при выполнении условия:

- а) Равенства коэффициента усиления света, прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.
- б) Превышения коэффициента усиления активной среды сумме полезных и вредных потерь резонатора.
- в) Равенства коэффициента усиления активной среды полезным потерям на зеркалах резонатора.
- г) Равенства коэффициента усиления света, дважды прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.

50. Нарисовать распределение энергии на выходном зеркале для моды

- а) 0,0
- б) 0,1
- в) 1,0
- г) 1,1



6.ГЛАВА. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКЕ

ИЗУЧЕНИЕ НАЛАДКИ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬ-СОНА НА ОПОРНОЙ ПЛИТЕ ЛАЗЕРНОЙ ОПТИКИ

Цели эксперимента:

- Сборка интерферометра Майкельсона.
- Наблюдение интерференционной картины.

Приборы и принадлежности: опорная плита лазерной оптики, Не-Не лазер (линейно-поляризованный), держатель лазера, оптическое основание (4 шт.), разделитель луча, держатель для разделителя луча, плоское зеркало с плавной регулировкой (2 шт.), сферическая линза ($f = 2,7 \text{ мм}$), полуопрозрачный экран, салазки, линейка.

Основные сведения.

Интерферометрия является чрезвычайно точным и чувствительным методом измерения для определения, например изменения длины, уровня плотности, показателей преломления и длины волны. Интерферометр Майкельсона принадлежит семейству двухлучевых интерферометров. Он функционирует на следующем принципе:

Луч когерентного света, поставляемый подходящим источником, разделяется на две части оптическим компонентом. Эти частичные лучи перемещаются вдоль различных путей, отражаясь друг от друга, и направляются к другому оптическому компоненту, где они объединяются и налагаются. Результатом является интерференционная картина. Если длина пути одного из этих частичных лучей, т.е. продукта показателя преломления и геометрического пути, изменяется, это производит сдвиг фаз относительно безмаятчного луча. Это свою очередь вызывает изменение в интерференционном узоре, который позволяет нам делать выводы об любых изменениях в показателе преломления или оптической траектории, когда соответствующая другая величина остаётся постоянной. Это означает, что, когда показатель преломления остаётся постоянным, мы можем определять различия в геометрическом пути, например, вследствие изменения в размерах материалов при нагревании или при воздействии электрических или магнитных

полей. С другой стороны, если геометрический путь остаётся постоянным, мы можем определять преломляющие показатели, а также количества и влияния, влияющие на показатель преломления, при изменении давления, температуры или плотности.

Интерферометр Майкельсона является подходящим прибором для демонстрации. Например, эффектов механических ударов и воздуха, проносящегося на опорной плите лазерной оптики. При сборке для того, чтобы сделать голограммы, это мероприятие может помочь вам идентифицировать и устранять помехи.

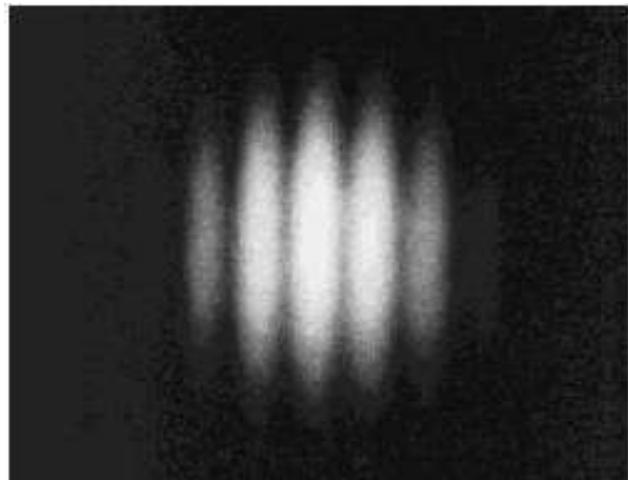


Рис. 6.1. Фотография интерференционной картины на полуупрозрачном экране.

Заметки по безопасности:

- Никогда непосредственно не заглядывайте на прямой или отражённый лазерный луч.
- Не превышайте предел яркости света (т.е. никакой наблюдатель недолжен чувствовать себя ослеплённым).

Порядок выполнения работы:

Примечание:

- Оптические компоненты с повреждёнными или грязными поверхностями могут вызвать нарушения в интерференционной картине;
- Обращайтесь с плоским зеркалом, делителем луча и сферической линзой с осторожностью;
- Сохраняйте их в месте без пыли;
- Не касайтесь их голыми руками.

На рис. 6.2 показана установка интерферометра Майкельсона на опорной плите лазерной оптики. Для подготовки эксперимента правильно, вы должны выполнить следующие шаги.

1. Опорная плита лазерной оптики и лазер.

1. Накачайте воздушную подушку.
2. Поместите опорную плиту (*a*) с воздушной подушкой горизонтально на прочной лабораторной скамье.
3. Смонтируйте лазер на лазерной поддержке и поместите его на левом краю опорной плиты.
4. Соедините лазер и включите его.
5. Ослабьте три гайки замка регулировочных винтов на лазерной поддержке.
6. Используя регулировочные винты, регулируйте высоту и наклон лазера так, чтобы луч распространялся горизонтально на приблизительно 75 мм выше опорной плиты.
7. Измерьте интервал с линейкой.
8. Сожмите гайки замка.

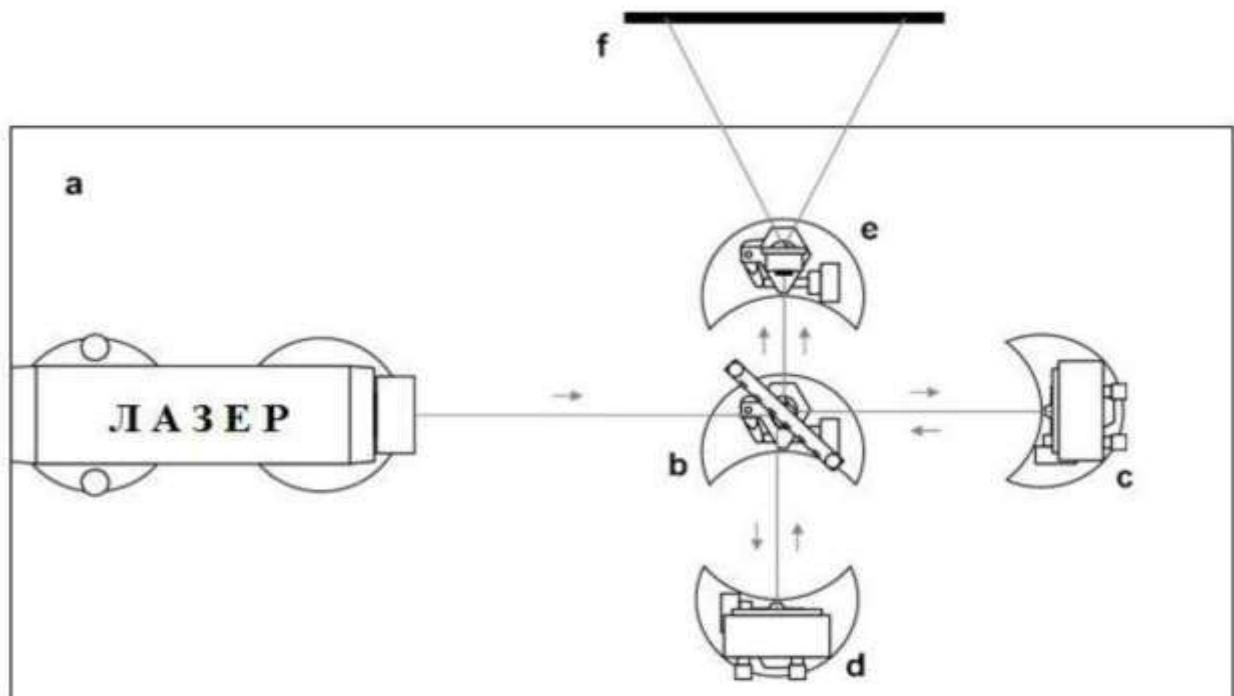


Рис. 6.2. Установка интерферометра Майкельсона на опорной плите лазерной оптики, вид сверху. *a* - опорная плита лазерной оптики; *b* - делитель луча; *c, d* - плоские зеркала с точной настройкой; *e* - сферическая линза; *f* - полупрозрачный экран.

2. Разделитель луча.

Отражённые и преломлённые частичные лучи должны иметь одинаковую интенсивность. При использовании подвижного разделятеля луча, удостоверьтесь, что лазерный луч падает на разделятель луча более или менее в центре.

1. Сначала удостоверьтесь, что делитель луча (*b*) отражает лазерный луч горизонтально. Чтобы сделать это, поместите делитель луча с основой оптики в путь луча в противоположном конце опорной плиты лазерной оптики и отразите лазерный луч к точке рядом с апертурой излучения лазера.

2. По мере необходимости с помощью двух регулировочных винтов на стержне исправьте наклон делителя луча, и таким образом путь луча.

3. Наконец, поместите делитель луча в путь луча под углом 45° как показано на рис. 6.2. Частично прозрачный слой делителя луча должен быть обращённым к лазеру.

3. Плоские зеркала.

Примечания: Проще скорректировать установку в несколько затемнённой комнате. В дополнение к основным лучам многократные отражения также производят так называемые дополнительные частичные лучи низкой интенсивности. Они впоследствии просеиваются держателями линзы и могут таким образом быть проигнорированы в последующей корректировке. Качество лазерного луча ухудшается, когда частичные лучи, отражённые делителем луча, отражаются непосредственно в апертуру излучения лазера.

1. Поместите плоское зеркало (*c*) так, чтобы лазерный луч падал его в центр.

2. Путём перемещения оптическую основу на опорной плите и управления регулировочными винтами на тыльной стороне, выровняйте плоское зеркало так, чтобы луч был фактически отражён в себя и после передачи через делитель луча, луч падал в точке чуть выше апертуры излучения лазера.

3. Закрепите полупрозрачный экран (*f*) на основу и поместите его позади опорной плиты как показано на рис. 6.2 так, чтобы лазерный луч падал его в центр.

4. Поместите плоское зеркало (*d*) в частичный луч, отражённый от делителя луча (*b*) как показано на рис. 6.2, расположите

его почти на такое же расстояние от делителя луча как плоское зеркало (c).

5. Путём поворота оптической основы на опорной плите лазерной оптики и регулировки винтов, выровняйте плоское зеркало так, чтобы этот частичный луч был также фактически отражён в себя и был повторно объединён с первым частичным лучом после передачи делителя луча.

6. Скорректируйте зеркала (c) и (d) с помощью регулировочных винтов так, чтобы самые интенсивные лучи двух отражательных групп были абсолютно совпадающими на экране.

4. Сфéricaская линза.

1. Для расширения луча (маленькое отверстие держателя линзы должно обратиться к делителю луча) поместите сферическую линзу (e) в опорную плиту между делителем луча и полупрозрачным экраном

2. Отрегулируйте высоту и боковую позицию сферической линзы так, чтобы два частичных луча прошли через него по оси.

5. Точная настройка.

1. Если Вы ещё не видите картину линий на полупрозрачном экране, тогда измените, направление луча путём небольшого изменения выравнивания делителя луча или плоских зеркал и отрегулируйте сферическую линзу по мере необходимости.

2. Чем больше частичные лучи двигаются параллельно между делителем луча и экраном, тем шире и больше расстояния между интерференционными линиями.

3. Путём небольшого изменения выравнивания делителя луча или плоских зеркал скорректируйте интерференционную картину так, чтобы было просто наблюдать.

4. Если вы не можете достигнуть удовлетворительного изображения точной настройкой, повторите процедуру корректировки интерферометра с начала.

5. Интерференционная картина намного более ярка и проще наблюдать, когда лазер переключается на выходную мощность 1 мВт. Поскольку это может изменить путь луча немного, вы, возможно, должны скорректировать путь луча или позицию сферической линзы.

Экспериментальный пример. На рис.6.1. показана фотография интерференционной картины на полупрозрачном экране.

Контрольные вопросы:

1. Объясните цель лабораторной работы.
2. Объясните порядок выполнения лабораторной работы.
3. Что представляет собой явление интерференции? При каких условиях ее наблюдают?
4. Какие волны называются когерентными? Как можно получить когерентные световые волны?
5. Опишите установку, использованную в лабораторной работе.
6. Объясните возникновение интерференционной картины на экране в опыте Майкельсона.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ СВЕТА ГЕЛИЕВО-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬСОНА

Цели эксперимента:

- Сборка интерферометра Майкельсона.
- Наблюдение интерференционной картины.
- Определение длину волны света.

Приборы и принадлежности: опорная плита, Не-Не лазер (линейнополяризованный), держатель лазера, оптическое основание (4 шт.), разделитель луча, держатель для разделителя луча, плоское зеркало с плавной регулировкой (2 шт.), сферическая линза ($f = 2,7 \text{ мм}$), полупрозрачный экран, салазки, линейка.

Основные сведения.

Интерферометрия является чрезвычайно точным и чувствительным методом измерения для определения, например, изменения длины, уровня плотности, показателей преломления и длины волны. Интерферометр Майкельсона принадлежит семейству двухлучевых интерферометров. Он функционирует на следующем принципе:

Луч когерентного света, поставляемый подходящим источником, разделяется на две части оптическим компонентом. Эти частичные лучи перемещаются вдоль различных путей, отражаясь, друг от друга и направляются к другому оптическому компоненту, где они объединяются и налагаются. Результатом является интерференционная картина. Если длина пути одного из этих частичных лучей, т.е. продукта показателя преломления и геометрического пути, изменяется, это производит сдвиг фаз относительно первоначального луча.

Это свою очередь вызывает изменение в интерференционном узоре, который позволяет нам делать выводы об любых изменениях в показателе преломления или оптической траектории, когда соответствующая другая величина остаётся постоянной. Это означает, что, когда показатель преломления остаётся постоянным, мы можем определять различия в геометрическом пути, например, вследствие изменения в размерах материалов при нагревании или при воздействии электрических или магнитных полей. С другой стороны, если геометрический путь остаётся постоянным, мы можем определять преломляющие показатели, а также количества и

влияния, влияющие на показатель преломления, при изменении давления, температуры или плотности.

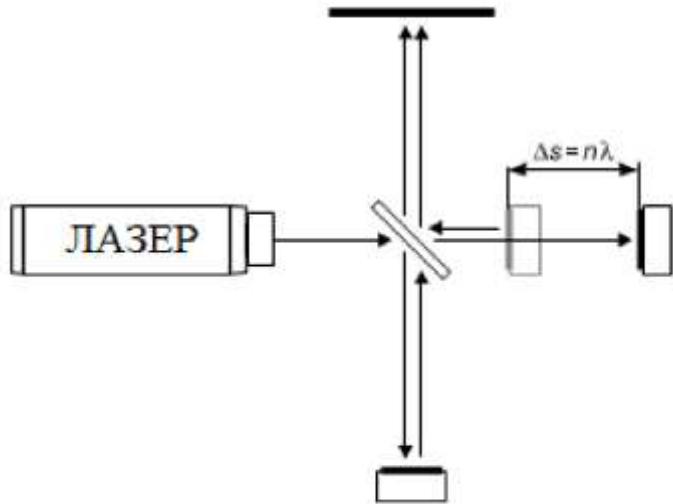


Рис. 6.3. Схема интерферометра Майкельсона.

Для измерения длины волны излучения лазера одно из плоских зеркал смещается точно измеримым расстоянием с помощью механизма точной настройки; это изменение изменяет длину оптического пути соответствующего частичного луча. Во время этого изменения интерференционные полосы двигаются по полупрозрачному экрану наблюдения. Для оценки этого явления мы можем во время смещения плоского зеркала пересчитать максимумы или минимумы, прошедшие через определённую точку экрана наблюдения.

Заметки по безопасности.

- Никогда непосредственно не заглядывайте на прямой или отражённый лазерный луч.
- Не превышайте предел яркости света (т.е. никакой наблюдатель не должен чувствовать себя ослеплённым).

Порядок выполнения работы. Примечания.

- Оптические компоненты с повреждёнными или грязными поверхностями могут вызвать нарушения в интерференционной картине;
- Обращайтесь с плоским зеркалом, делителем луча и сферической линзой с осторожностью;
- Сохраняйте их в месте без пыли;
- Не касайтесь их голыми руками.

На рис. 6.4 показана установка интерферометра Майкельсона на опорной плите лазерной оптики. Для подготовки эксперимента правильно, вы должны выполнить следующие шаги:

1. Опорная плита лазерной оптики и лазер.

1. Накачайте воздушную подушку.
2. Поместите опорную плиту (*a*) с воздушной подушкой горизонтально на прочной лабораторной скамье.
3. Смонтируйте лазер на лазерной поддержке и поместите его на левом краю опорной плиты.
4. Соедините лазер и включите его.
5. Ослабьте три гайки замка регулировочных винтов на лазерной поддержке.
6. Используя регулировочные винты, регулируйте высоту и наклон лазера так, чтобы луч переместился горизонтально на приблизительно 75 мм выше опорной плиты (существует все ещё достаточно игры для последующей корректировки). Измерьте интервал с линейкой.
7. Сожмите гайки замка.

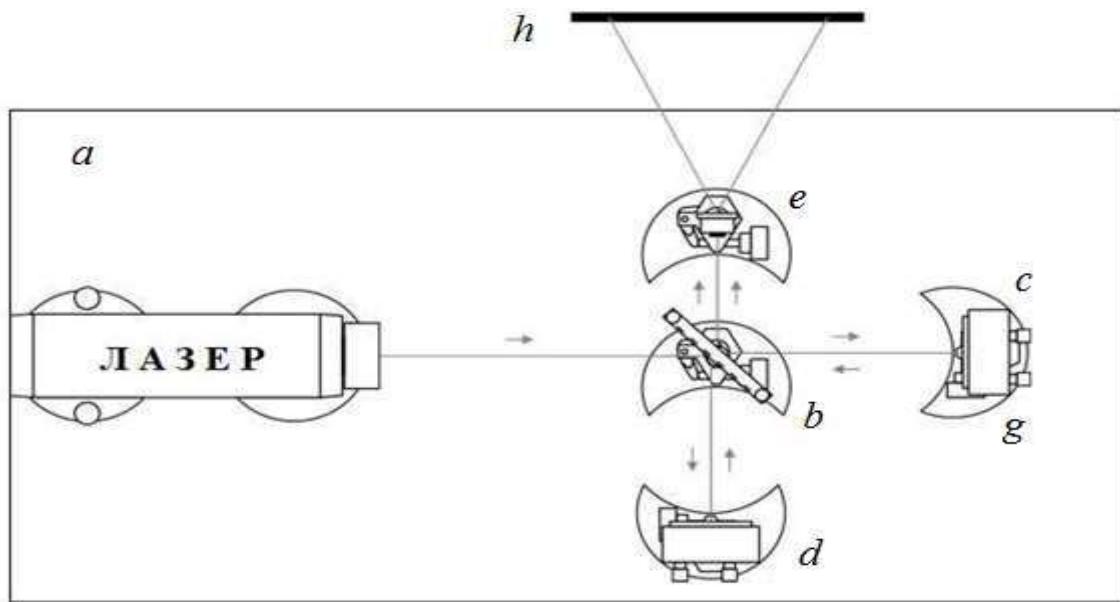


Рис. 6.4 Установка интерферометра Майкельсона на опорной плите, вид сверху. *a* - опорная плита лазерной оптики; *b* - делиль луча;

c, d - плоские зеркала с точной настройкой; *e* - сферическая линза; *f* - механизм точной настройки; *g* - редуктор механизма точной настройки; *h* - полупрозрачный экран.

2. Разделитель луча.

Отражённые и преломлённые лучи должны иметь одинаковую интенсивность. При использовании подвижного разделителя луча, удостоверьтесь, что лазерный луч падает на разделитель луча более или менее в центр.

1. Сначала удостоверьтесь, что делитель луча (*b*) отражает лазерный луч горизонтально. Чтобы сделать это, поместите делитель луча с оптической основой в путь луча на противоположном конце опорной плиты и отразите лазерный луч к точке рядом с апертурой излучения лазера.

2. По мере необходимости с помощью двух регулировочных винтов на стержне исправьте наклон делителя луча, и таким образом путь луча.

3. Наконец, поместите делитель луча в путь луча под углом 45° как показано на рис. 6.4. Частично прозрачный слой делителя луча должен быть обращённым к лазеру.

3. Плоские зеркала и механизм точной настройки.

Примечания. Проще юстировать установку в несколько затемнённой комнате. В дополнение к основным лучам многократные отражения также производят так называемые дополнительные частичные лучи низкой интенсивности. Они впоследствии преломляются держателями линзы и могут таким образом быть проигнорированы в последующей корректировке. Качество лазерного луча ухудшается, когда частичные лучи, отражённые делителем луча, отражаются непосредственно в апертуру излучения лазера.

1. Выровняйте оптическое основание под механизмом точной настройки как показано на рис. 6.4.

2. Поместите плоское зеркало (*c*) и механизм точной настройки (*g*) на опорной плите лазерной оптики (*a*) так, чтобы излучение лазера падал в центр плоского зеркала.

3. Удостоверьтесь, что плоскость зеркала максимально перпендикулярен направлению смещения, так, чтобы лазерный луч был всегда отражён к той же точке, когда зеркало смещено.

4. Путём поворота оптического основания на опорной плите и управления регулировочными винтами на тыльной стороне, выровняйте плоское зеркало так, чтобы луч был фактически отражён в себя и после передачи делителя луча, падал в точку чуть выше апертуры излучения лазера.
5. Поместите стойку для редуктора непосредственно позади механизма точной настройки.
6. Прикрепите редуктор механизма точной настройки (*g*) к стойке для редуктора с помощью магнитной полосы.
7. Тщательно зафиксируйте двойную асинхронную шарнирную муфту к верхней точке микрометрического винта точной настройки.
8. Переместите основание редуктора (*g*) и регулируйте высоту стойки для редуктора так, чтобы соединительная тяга не была ни полностью растянута, ни полностью сжата, поскольку иначе измерение может быть сфальсифицировано позже смещением механизма точной настройки.
9. Сохраняйте углы отдельных сегментов асинхронной шарнирной муфты, как можно меньше (не больше, чем 45°).
10. Проверьте юстировку плоского зеркала (*c*) и отьюстите по мере необходимости.
11. Закрепите полупрозрачный экран (*h*) в основание и расположите его позади опорной плиты как показано на рис. 6.4 так, чтобы лазерный луч падал его в центр.
12. Поместите плоское зеркало (*d*) в частичный луч, отражённый от делителя луча (*b*) как показано на рис. 6.4 и расположите его почти на такое же расстояние от делителя луча как плоское зеркало (*c*).
13. Путём поворота оптического основания на опорной плите и корректировки винтов, юстируйте плоское зеркало так, чтобы этот луч был также фактически отражён в себя и был повторно объединён с первым частичным лучом после передачи через делитель луча.

14. Юстируйте плоские зеркала (*c*) и (*d*) с помощью регулировочных винтов так, чтобы самые интенсивные лучи двух отражательных групп были абсолютно совпадающими на экране.

4. Сферическая линза.

1. Для расширения луча (маленькое отверстие оправы линзы должно быть обращённым к делителю луча).

2. Поместите сферическую линзу (*e*) в опорную плиту лазерной оптики между делителем луча и полупрозрачным экраном.

3. Отрегулируйте высоту и боковую позицию сферической линзы так, чтобы два частичных луча прошли через него по оси.

5. Точная настройка.

Если Вы ещё не видите картину линий на полупрозрачном экране:

1. Измените, путь луча путём небольшого изменения юстировки делителя луча или плоских зеркал.

2. Отьюстируйте сферическую линзу по мере необходимости.

3. Чем больше частичные лучи двигаются параллельно между делителем луча и экраном, тем шире и больше расстояния между интерференционными полосами.

4. Путём небольшого изменения юстировки делителя луча или плоских зеркал скорректируйте интерференционную картину так, чтобы было легко наблюдать.

5. Если вы не можете достигнуть удовлетворительного изображения точной настройкой, повторите процедуру юстировки интерферометра с начала.

6. Интерференционная картина намного более ярка и проще наблюдать, когда лазер переключается на выходную мощность 1 *мВт*. Поскольку это может изменить путь луча немного, вы, возможно, должны скорректировать путь луча или позицию сферической линзы.

6. Проведение эксперимента.

Во время эксперимента:

1. Избегайте механических воздействий на опорную плиту лазерной установки (например, не встремливать или не ударять опорную плиту).

2. Избегайте воздушного потока, проносящегося по установке, например, посредством дыхания или сквозняков.

3. Отметьте позицию максимума интенсивности на полупрозрачном экране (h), в котором могут быть пересчитаны протекающие интерференционные полосы.

4. Поворачивайте редуктор медленно и равномерно путём лёгкого касания пальца в заводную рукоятку редуктора (g), пока интерференционные полосы не начинают смещаться (вам может потребоваться нескольких оборотов).

5. Далее поверните редуктор, по крайней мере, ещё один полный поворот.

6. Продолжайте поворачивать редуктор и, одновременно, пересчитайте количество интерференционных полос, проходящих по отметку и число вращений редуктора.

Примечание: если движение плоского зеркала, и соответственно интерференционных полос, являются «рывками», тогда надо смазать редуктор механизма точной настройки.

Пример измерения.

Таблица 6.1.

Число посчитанных максимумов интенсивности Z как функция числа оборотов N .

N	Z
1	16 ± 1
2	32 ± 1

Оценка и выводы.

Число оборотов N редуктора, общее смещение ds плоского зеркала, длина волны излучения лазера λ и числа максимумов интенсивности, посчитанные Z имеют следующее соотношение:

$$Z \lambda = 2 ds \quad \text{при} \quad ds = 5 \text{ мкм} \quad N \quad (6.1)$$

В этом уравнении множитель 2 происходит от того что, геометрический путь изменяется ds и для прибывающего луча и отражённого луча.

Таким образом, мы можем определить λ , используя уравнение:

$$\lambda = 2 (ds/Z) \quad (6.2)$$

Таблица 6.2.
Смещение ds плоского зеркала и результаты для длины волны λ .

$ds, \text{ мкм}$	$\lambda, \text{ нм}$
5	625 ± 39
10	625 ± 20

Таблица 6.2. содержит результаты для длины волны λ . В пределах ошибки эти значения соглашаются с литературным значением $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ для красного света гелиево-неонового лазера. Точность измерения для λ лучше, чем большее общее смещение ds .

Контрольные вопросы:

1. Объясните цель лабораторной работы.
2. Объясните порядок выполнения лабораторной работы.
3. Какую величину называют временем когерентности?
4. Для чего вводятся понятия временной и пространственной когерентностей?
5. Два когерентных световых пучка с оптической разностью хода $\Delta = \frac{3}{2}\lambda$ интерферируют в некоторой точке. Максимум или минимум наблюдается в этой точке? Почему?
6. Почему интерференцию можно наблюдать от двух лазеров и нельзя от двух электроламп?



ДИФРАКЦИЯ В ДВОЙНОЙ ЩЕЛИ И МНОЖЕСТВЕННЫХ ЩЕЛЯХ. ЗАПИСЬ И ОЦЕНКА С VIDEOCOM

Цель эксперимента:

- Запись и моделирования распределения интенсивности дифракционных картин:
 1. Двойные щели с постоянным шагом, определение ширины щелей.
 2. Двойные щели с постоянной шириной, определение расстояния между щелями.
 3. Несколько прорезей для различного числа щелей и определение ширины щели, расстояние щели.

Приборы и принадлежности: Диафрагма с 3 двойными разрезами, диафрагма с 4 двойными разрезами, диафрагма с 5 множественными разрезами, держатель с пружинными зажимами, Не-Не-Лазер линейной поляризации, поляризационный фильтр, VideoCom USB, линза в рамке ($f = +5 \text{ мм}$), линза в рамке ($f = +50 \text{ мм}$), линза в рамке ($f = +500 \text{ мм}$), оптическая скамья, стандартный поперечный разрез 1 м, Оптические ридерсе (60/50, 7 шт.), ПК с ОС Windows 2000/XP/Vista.

Основные сведения.

Дифракционные явления всегда происходят, когда свободное распространение света изменено препятствиями, такими как узкие диафрагмы или разрезы. Отклонению от линейного распространения света, наблюдаемого в этом случае, называют дифракцией. При изучении явления дифракции различают два типа экспериментальной процедуры.

В случае дифракции Фраунгофера, параллельных волновых фронтов света изучаются перед объектом дифракционной и позади него. Это соответствует источнику света, который на бесконечном расстоянии от дифракционной объекта на одной стороне и, с другой стороны, экран, который тоже находится на бесконечно большом расстоянии от объекта дифракции. Экспериментально это реализуется с помощью собирающих линз, которые размещены на пути луча, например, между источником света и объектом дифракции.

В случае дифракции Френеля, источник света и экран находятся на конечном расстоянии от объекта дифракции. С увеличением расстояния, дифракционные картины Френеля все больше и больше похожи на модель Фраунгофера. Расчет дифракционной картины легче в случае дифракции Фраунгофера. Поэтому эксперименты, описанные здесь, основаны по точке зрения Фраунгофера.

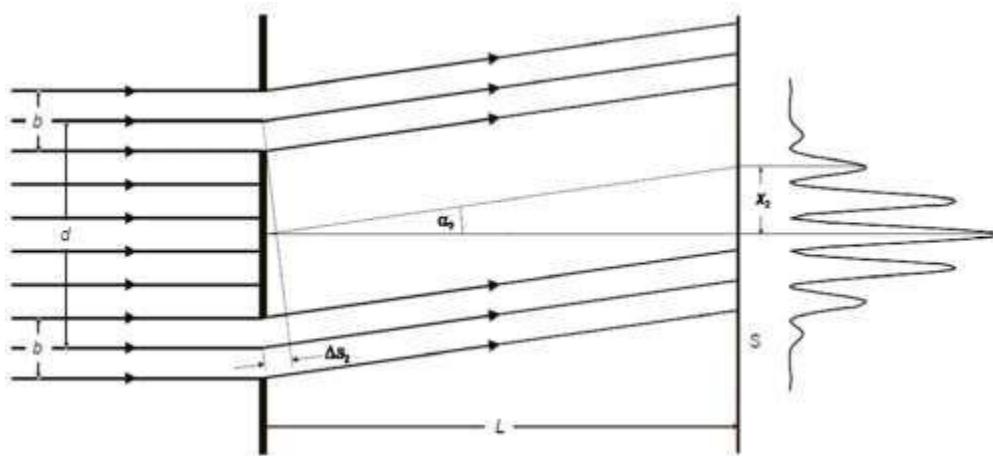


Рис. 6.5.: Схема дифракции света на двойной щели.
 b - ширина щели, d - расстояние между щелями. L - расстояния между экраном и щелью, x_2 - расстояние от 2-минимума интенсивности до центра, α - направление, в котором наблюдается вторая деструктивная интерференция,
 Δs_2 - разность пути, S - плоскость просмотра (CCD линия VideoCom)

Согласно Т. Юнга, два когерентные отдельные пучки могут быть изолированы (или ослаблены) когерентным светом лазера с помощью двух близкорасположенных щелей одинаковой ширины. Это означает, что щели выступают в качестве двух источников света (в сочетании), световые пучки накладываться в значительной степени на больших расстояниях. Дифракция параллельно поступающего света на двух щелях заставляет свет распространяться даже в геометрической тени, щелевых диафрагм. Кроме того, система светлых интерференционных полос и темных интерференционных полос наблюдается относительно плоскости просмотра

(например, экран или листок бумаги), который не может быть объяснен согласно законам геометрической лучевой оптики.

Объяснение этого возможно, если учесть волновые свойства света и если дифракционная картина, наблюдаемая на экране, рассматривают как суперпозиция (бесконечно) большого числа парциальных пучков, идущих от щели диафрагмы.

Таким образом, из распределения амплитуды $A(x)$ рассчитывается распределение интенсивности $I(x)=A^2(x)$. Как правило, можно получит следующая пропорциональность для расположения N щелей шириной D в случае малых углов дифракции ($\sin \alpha \approx \alpha$):

$$I(\alpha) \sim \frac{1}{N^2} \cdot \frac{\sin^2(2\pi \frac{b}{\lambda} \alpha)}{(2\pi \frac{b}{\lambda} \alpha)^2} \cdot \frac{\sin^2(N\pi \frac{d}{\lambda} \alpha)}{\sin^2(\pi \frac{d}{\lambda} \alpha)^2} \quad (6.3)$$

Третий член в правой части уравнения (6.3) описывает периодическую последовательность максимумов и минимумов интенсивности, которые наблюдались бы при дифракции плоской световой волны при расположении в равном расстоянии друг от друга N бесконечно узких щелей.

Второй член, на правой стороне уравнения (6.3) описывает влияние конечной ширины щели b . Этот фактор является "оболочка" дифракционной картины и равна функции дифракции на одной щели шириной b . Таким образом, дифракционная картина множественных щелей ($N \geq 2$) модулируется на дифракционной картине на одной щели. Первый член $1/N^2$ описывает зависимость интенсивности от номера щелей.

В эксперименте, распределение интенсивности $I(\alpha)$ дифракционной картины записывается с помощью одной линейной камеры CCD Videocom. Для этого дифракционная картина проецируется на CCD-линию, содержащую 2048 пикселей (CCD: прибор с зарядовой связью) и передаются в компьютер через последовательный интерфейс.

Компьютерная программа, связанная с Videocom отображает распределение интенсивности $I(\alpha)$ и, таким образом, обеспечивает быстрое и прямое сравнение с распределением интенсивности ожидаемой по теории.

Техника безопасности.

- Никогда не смотрите прямо на отраженный лазерный луч.
- Ни один наблюдатель не должен чувствовать себя ослепленным.

Порядок выполнения работы.

Примечание: корректировка должна проводиться в слегка затемненной комнате. Вся экспериментальная установка показана на рис. 10.2. Сферическая линза L_1 с фокусным расстоянием $F=+5\text{ мм}$ обеспечивает расширение поляризованного лазерного луча. Последующее конвергентные линзы L_2 с фокусным расстоянием $F=+50\text{ мм}$ расположен так, чтобы его фокус немного ниже фокуса сферической линзы (Уровень фокусов смещен). Поэтому лазерный луч немного растягивается и работает почти параллельно вдоль оптической оси. За держателем с помощью пружинных зажимов H , конвергентная линза L_3 с фокусным расстоянием $F=+500\text{ мм}$ обеспечивает четкое изображение дифракционной картины на CCD-мишеней Videocom. Интенсивность лазерного излучения, можно регулировать с помощью поляризационного фильтра P между лазером и линзой L_1 .

Оптическая установка.

1. Используя оптические ридерсы, прикрепите гелиевонеоновый лазер коптической скамье как показано в рис. 6.6.
2. Поместите VideoCom в противоположном конце оптической скамьи посредством стержня подставки и оптической ридерса.
3. Включите лазер и выровняйте лазер и VideoCom так, чтобы они лежали ровно по оптической оси. При настройке других компонентов, следить за тем, чтобы не изменился положение оптической оси.
4. Поместите сферическую линзу L_1 с фокусным расстоянием $F = +5\text{ м}$ перед лазером на расстоянии около 20 см (лазерный луч должен покрыть отверстие VideoCom).
5. Поместите сходящую линзу L_2 с фокусом расстоянием $f = +50\text{ м}$ позади сферической линзы L_1 на расстоянии приблизительно 6 см и переместите это вдоль оптической скамьи к сферической линзе L_1 , пока изображение лазерного луча на линии CCD VideoCom не является ясным.
6. Переместите сходящую линзу L_2 немного дальше в

направлении сферической линзы L_1 , пока диаметр лазерного луча на экране не расширяется до приблизительно к 6 мм (теперь, у лазерного луча должен иметь постоянное круглое поперечное сечение).

7. Чтобы проверить, постоянен ли диаметр луча между линзой и экраном, проведите листок бумаги в пути луча и следуйте за поперечным сечением пучка вдоль оптической оси.

8. Установите конвергентную линзу L_3 с фокусным расстоянием $f = +500 \text{ ммк}$ пути луча на расстоянии приблизительно 50 см от VideoCom и поместите его так, чтобы изображение лазерного луча на линии CCD VideoCom было ясным.

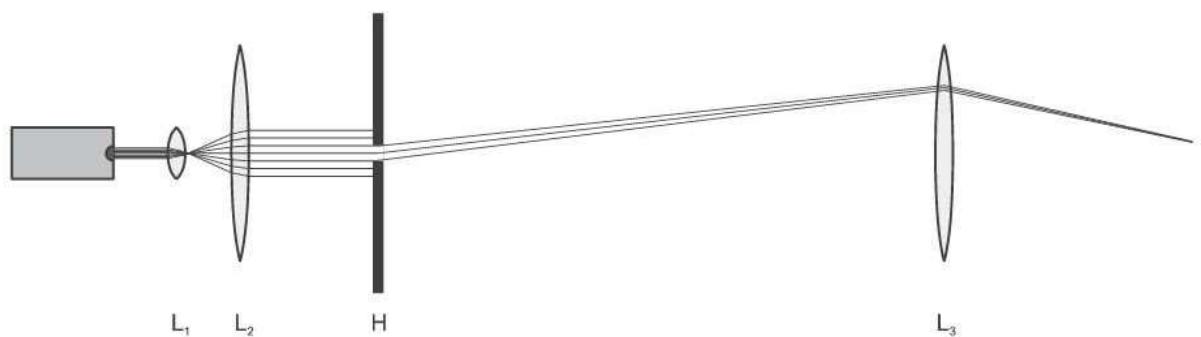
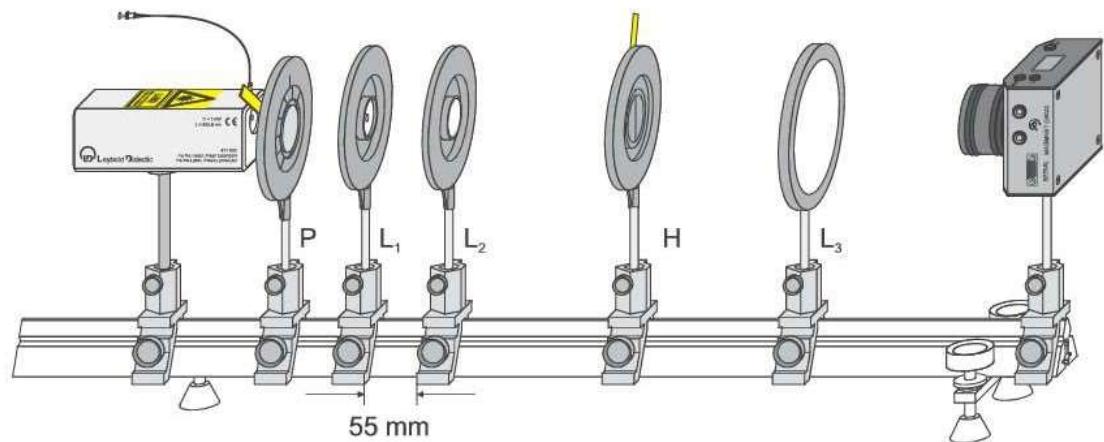


Рис. 6.6. Экспериментальная установка и схема пути лучей для наблюдения дифракции в щели.

L_1 - линза $f = +5 \text{ мм}$, L_2 - линза $f = +50 \text{ мм}$, L_3 - линза $f = +500 \text{ мм}$, P - поляризационный фильтр, H - держатель с пружинными зажимами, S - плоскость просмотра (CCD линия Videocom).

9. Установите держатель с помощью пружинных зажимов H

с диафрагмой, с тремя двойными щелями на пути луча между линзами L_2 и L_3 .

10. VideoCom только измеряет интенсивность на линии. Поэтому она должна быть проверено, падает ли дифракционная картина точно на линию CCD. В случае необходимости, подстройте высоту VideoCom.

11. Установите поляризационный фильтр P к пути луча между лазером и линзой L_1 .

Измерение интенсивности с помощью Videocom.

1. Подключите Videocom к компьютеру через последовательный порт и запустите программу "VideoCom Intensities".

2. Нажмите клавишу $F8$ для записи распределения интенсивности. (Во время измерения, измеренные значения непрерывно обновляются, т.е. они записываются в таблице, и отображается на диаграмме.)

3. Регулируйте поляризацию фильтра P так, чтобы интенсивность максимума дифракционной картины была несколько ниже.

4. Вызов меню "Калибровка/Сравнение с теорией" осуществляется нажатием клавиши $F5$.

5. Для калибровки угла записать фокусное расстояние $F = +500$ мм объектива $L3$ на вкладке "угол дифракции". Сдвиг нуля угла, который может быть необходимым, может быть выполнено автоматически, соответствующий видимый максимум дифракционной картины, нажав на кнопку "Нулевой точки соответствует максимуму". В дальнейшем, сравнение с теорией только возможно, если угол дифракции был откалиброван для измерения.

Примечание: Когерентный лазерный свет проходит через несколько линз и защитного стекла CCD линии, прежде чем попадания на светочувствительный слой CCD, и она может создавать интерференцию в каждой из этих стеклянных предметов. Поэтому структура интерференции могут быть не видна даже в неодифрагированном лазерном излучении.

Проведение эксперимента.

a) Дифракция в диафрагме с тремя двойными разрезами ($g = 0,25 \text{ мм}$):

- Сотрите прежние измеренные значения клавишей $F4$.
- Запишите распределения интенсивности $I(\alpha)$ для двойной щели с шириной $b = 0,10 \text{ мм}$. Для этого сначала нажмите клавишу $F8$ и выберите оптимальную настройку поляризационного фильтра P .
- Для конечной записи дифракционной картины нажмите клавишу $F9$.
- Остановите измерения, нажав $F9$.
- Сохраните результатов измерений, нажав $F2$ (выберите имя файла).
- Сотрите прежние значения, нажав $F4$.
- Повторите измерение для двойных щелей с $b = 0,15 \text{ мм}$ и $b = 0,20 \text{ мм}$ и сохраните результаты, используя новое имя файла в каждом случае.

b) Дифракция в диафрагме с четырьмя двойными разрезами ($b = 0,20 \text{ мм}$):

- Сотрите все прежние значения.
- Запишите распределения интенсивности $I(\alpha)$ для щели промежутками $g = 0,25$ мм .
- Сохраните результатов измерений (выберите имя файла).
- Повторите измерения для двойных щелей с $g = 0,50 \text{ мм}$; $g = 0,75 \text{ мм}$ и $g = 1,00$ мм , сохраните результаты, используя новое имя для файла каждый раз.

c) Дифракция в диафрагме с пятернями множественными щелями ($b = 0,20 \text{ мм}$ и $g = 0,25 \text{ мм}$):

- Сотрите ранее измеренные значения.
- Запишите распределения интенсивности $I(\alpha)$ для щели № 2.
- Сохраните результатов измерений (выберите имя файла).
- Повторите измерения для установленных щелей с № 3, 4, 5 и 40.
- Сохраните результаты, используя новое имя для файла каждый раз.

Пример измерений и оценка.

a) Дифракция в диафрагме с тремя двойными щелями ($g = 0,25 \text{ мм}$):

Рис. 10.3 показывает распределения интенсивности дифракционных моделей диафрагмы с тремя двойными щелями с различными ширинами щели (b

$= 0,10 \text{ мм}, 0,15 \text{ мм} \text{ и } 0,20 \text{ мм}$). С уменьшением ширины щели b , основное максимум интенсивности в кривой распределения интенсивности сдвигаются далее в сторону геометрическую затененную область. Грубая структура (оболочка) дифракционной картины определяется шириной щели b . Постоянный промежуток щели g , влияет на постоянной “чистой структуре” в распределении интенсивности. Расстояние между вторичными максимумами низкой яркости изменяется заметно.

Ширина щели b может быть определена по сравнению вычисленного распределения интенсивности $I(\alpha)$ с измеренным распределением.

- Для того, чтобы моделировать распределение интенсивности $I(\alpha)$ двойной щели с $b=0,1 \text{ мм}$, вызывайте меню “Calibration/Comparison with Theory” (“Калибровка/ сравнением с Теорией”) с клавишей $F5$ (сохранения измерений могут быть сделано $F3$).

- Перед выполнением имитации распределения интенсивности, сделайте автоматически коррекцию “Нулевой точку соответствующий максимуму” и “Фон в минимум” в таблице “Дифракционный угол”.

- Для имитации распределения интенсивности с уравнением (6.3.), длина волны λ лазера введена как за ранее известный параметр. Также предполагается, что эффективное фокусное расстояние $f = +500 \text{ мм}$ линзы L_3 , является известным параметром. Максимальная амплитуда $I(\alpha)$ может быть определена автоматически по таблице "Теория" по измерениям тока через кнопку “Автоматическая максимум” как параметр, который может быть введен также.

- Выберите дифракционной картину "Решетка" в таблице "Теория" и введите номер щели N и промежутка g между щелями.

- Введите в ожидаемую ширину и щели b как начальную параметр для имитации.

- Повторите вариацию параметра ширины щели b , пока достаточное согласование не достигнуто между измеренными и вычисленными кривыми интенсивности.

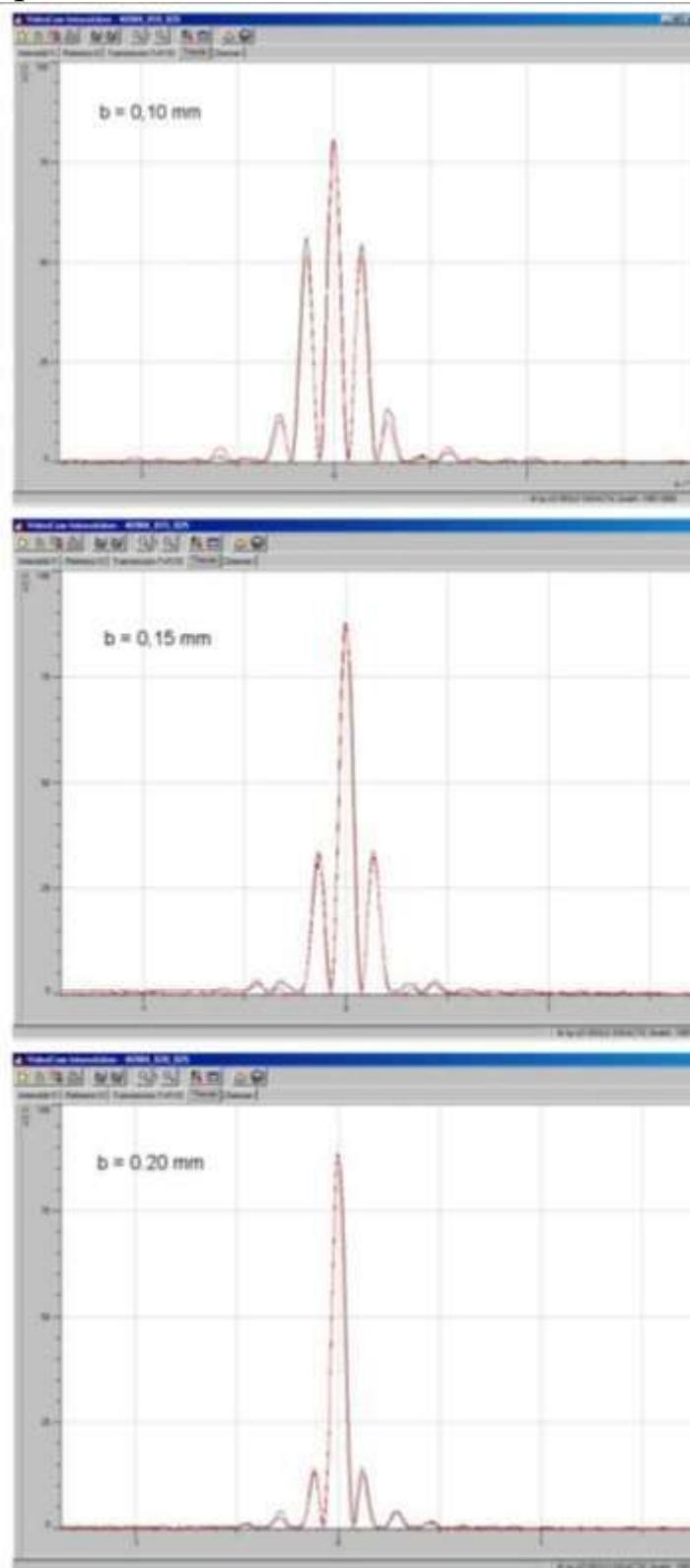


Рис. 6.7.: Дифракционная картина двойной щели ($N = 2$) в зависи-

мости от ширины щели b (черная линия). Красные линии соответствуют теоретическим имитациям согласно уравнению (6.3).

Примечание: Хорошая согласования распределения интенсивности с теорией только возможен, если на дифракционную решетку падает параллельный свет, то есть, если оптическая установка была настроено тщательно.

Рис. 6.7 демонстрирует, что кривые интенсивности, теоретический вычисленные, соглашаются с измеренными распределениями интенсивности. В пределах точности измерения, полученная ширина щели b хорошо согласуется с данными номинальными значениями.

b) Дифракция в диафрагме с четверьми двойными щелями ($g = 0,20 \text{ мм}$):

Рис. 6.7 показывает распределения интенсивности для диафрагмы с 4

двойными щелями для различной периодичностей щели $g = 0,25 \text{ мм}, 0,50 \text{ мм}, 0,75 \text{ мм} \text{ и } 1,00 \text{ мм}$. В отличие от пункта, a) эксперимента, основной интенсивности максимумов грубой структуры (оболочки) распределения интенсивности не изменяются. Изменение расстояния щели g приводит к заметному изменению расстояния между минимумами интенсивности между ними, то есть, он определяет тонкую структуру дифракционной картины. С увеличением промежутков между щелями g , вторичные максимумы ближе друг к другу.

Оценка:

Промежуток щели g может быть определен из сравнения вычисленного распределения интенсивности $I(\alpha)$ с измеряемым распределением.

- Выполнить моделирование распределения интенсивности в соответствии с процедурой, описанной в пункте a) с шагом щелевой g в качестве переменного параметра.

Рис. 6. показывает, что кривые интенсивности, вычисленные путем моделирования, согласуются с измеренными значениями распределения интенсивности. В пределах точности измерения g расстояния полученного таким образом находятся хорошем согласии с данными номинальных значений.

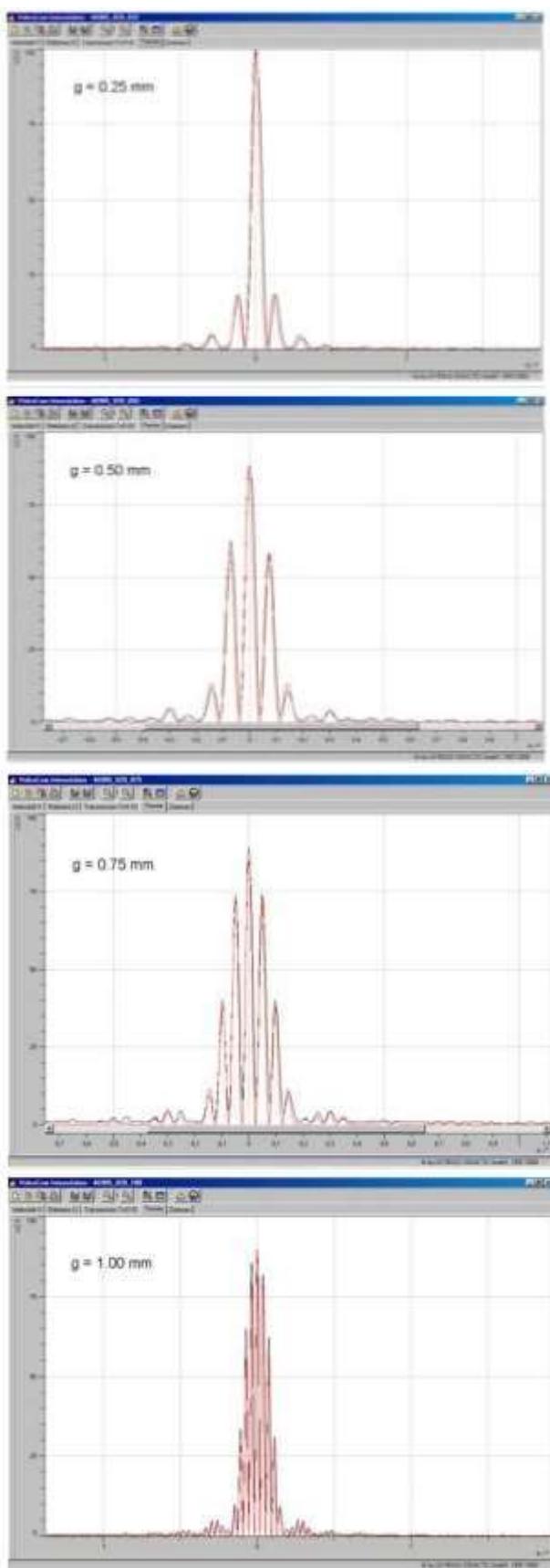


Рис. 6.8: Дифракционная картина двойной щели ($N = 2$) в зависимости от расстояния между щелями g (черные линии), красные линии соответствуют моделированию по формуле (6.3).

c) Дифракция на диафрагме с пятью множественными щелями ($b = 0,20 \text{ мм}$ и $g = 0,25 \text{ мм}$):

В рис. 10.5 показано распределение интенсивности дифракционных картин для диафрагмы с 5 множественными разрезами с различными номерами щелей N

$= 2, 3, 4$ и 5 . Для постоянной ширины щели b и постоянной промежутка g , распределение интенсивности для расположения N щели обладает $N-1$ вторичными минимумами и $N-2$ вторичных максимумов между главными максимумами. Интенсивность главных максимумов возрастает пропорционально $N-2$. Интенсивность вторичных максимумов уменьшается с ростом N и основные максимумы становятся ярче. Положение главных максимумов дифракционных картин остается постоянным, если номер щели N изменяется.

Оценка. Ширина щели b и интервал щели g может быть определена из сравнения вычисленного распределения интенсивности $I(\alpha)$ и с измеряемым распределением. Провести моделирование распределения интенсивности в соответствии с процедурой, описанной в пункте *a*) с шириной щели b и щелевым интервалом g в качестве переменных параметров.

Рис. 10.5 показывает, что кривые интенсивности, вычисленные путем моделирования, согласуются с распределениями измеренной интенсивности. В пределах точности измерений, шириной щели b и щелевым интервалом g , полученные данные находятся в хорошем согласии с номинальными значениями.

Результаты. Когда лазерный луч проходит через расположение N равноотстоящих щелей шириной b , можно получить дифракционную картину, распределение интенсивности, которого можно описать формулой (6.3). Распределение интенсивности определяется шириной щели b , интервалом щели g и щелью номером N . В случае малых щелевого номера N , ширина щели b определяет расширение в геометрической области тени. Номер вторичных минимумов определяется щелевым интервалом g . С увеличением номера щели N , главные максимумы становятся все более и более интенсивными; интенсивность вторичных максимумов становится слабее.

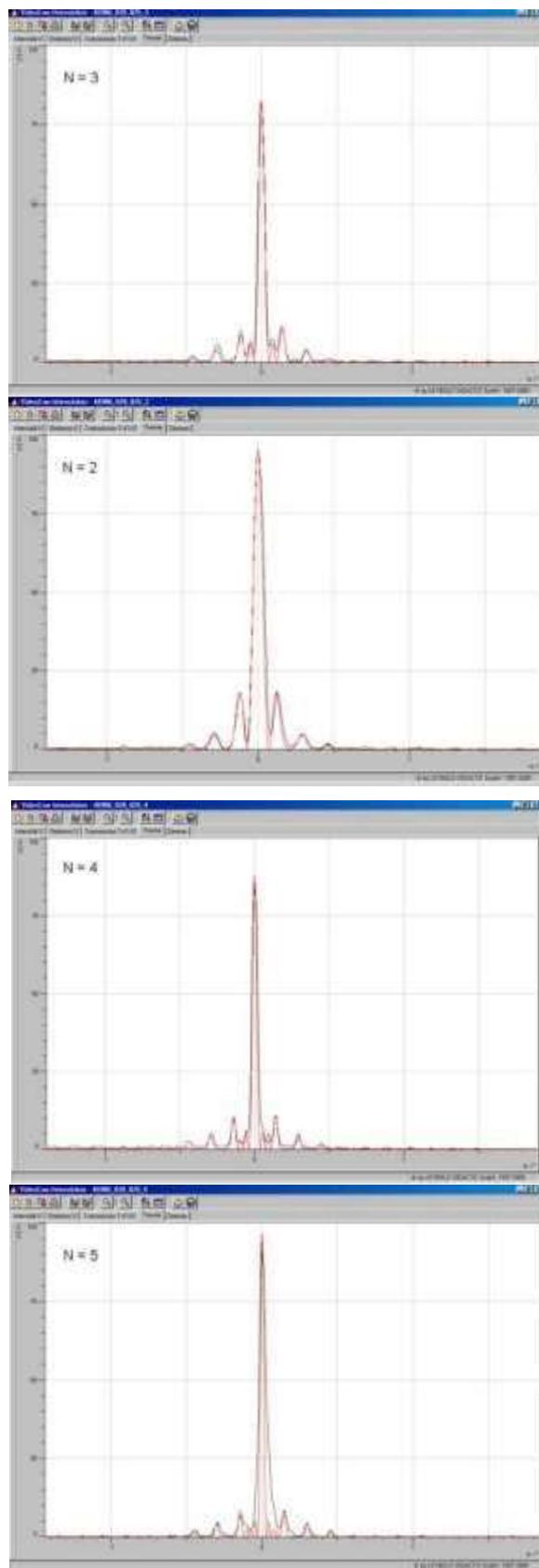


Рис. 6.9: Дифракционная картина в зависимости от номера щелей (черные линии), красные линии соответствуют моделированным согласно формуле (6.3).

Дополнительная информация. Интерференционные явления, описанные для двойной щели, аналогично происходят и в других областях физики, где их можно наблюдать более легко. Например, волны на поверхности воды, проходящие через двойную щель. Волновая модель является необходимым условием квантовой гипотезы света в интерпретации фотоэффекта и излучении света. В квантовой механике, эксперименты двойной щели играют важную роль. Они показывают, что частицы движутся так, как будто они является интерферирующими волной. Для электромагнитных волн (свет), квадрат амплитуды электрического поля определяет интенсивность. В случае материальных точек материи, квадрат амплитуды волн материи определяет локализацию волн (вероятностные волны).

Контрольные вопросы:

1. Объясните цель лабораторной работы.
2. Объясните порядок выполнения лабораторной работы.
3. Когда наблюдается дифракция Френеля, и дифракция Фраунгофера?
4. Почему дифракция не наблюдается на больших отверстиях и дисках?
5. Как определить наибольший порядок спектра дифракционной решетки?
6. Как изменится дифракционная картина при удалении экрана от решетки?
7. Почему при использовании белого света только центральный максимум белый, а боковые максимумы радужно окрашены?
8. Запишите условия дифракционных минимумов для одной щели и главных максимумов для решетки. Каков характер этих дифракционных картин?



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА И ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА

Цель работы: познакомиться с работой лазера и свойствами лазерного луча, убедиться в справедливости закона Малюса.

Приборы и принадлежности: газовый лазер ЛГ-56 со стабилизатором, поляризатор, фотодиод, прибор для измерения фототока.

Схема установки представлена на рис. 6.10. Источником света 1 является газовый лазер типа ЛГ-56 со стабилизатором 2, служащим для "поджига" питания лазера. Поляризатором 3 служит призма Аренса. Поляризатор укреплен в обойме **В** и вместе с круговой шкалой **б** с помощью рукоятки **г** поворачивается относительно неподвижного диска **д**, на котором укреплен указатель **а** отсчета углов поворота поляризатора. Приборы 1, 3, 4 укреплены на оптической скамье.

Для измерения интенсивности прошедшего через поляризатор света используется фотодиод 4 типа ФД-2. Фототок I_F возникающий в цепи микроамперметра 5, подключенного к фотодиоду, пропорционален интенсивности J падающего на него света: $I_F = kJ$. Так как в обеих задачах интенсивность света достаточно знать в относительных единицах и так как $I_F \sim J$, то за меру интенсивности света можно принимать величину фототока (в относительных единицах).

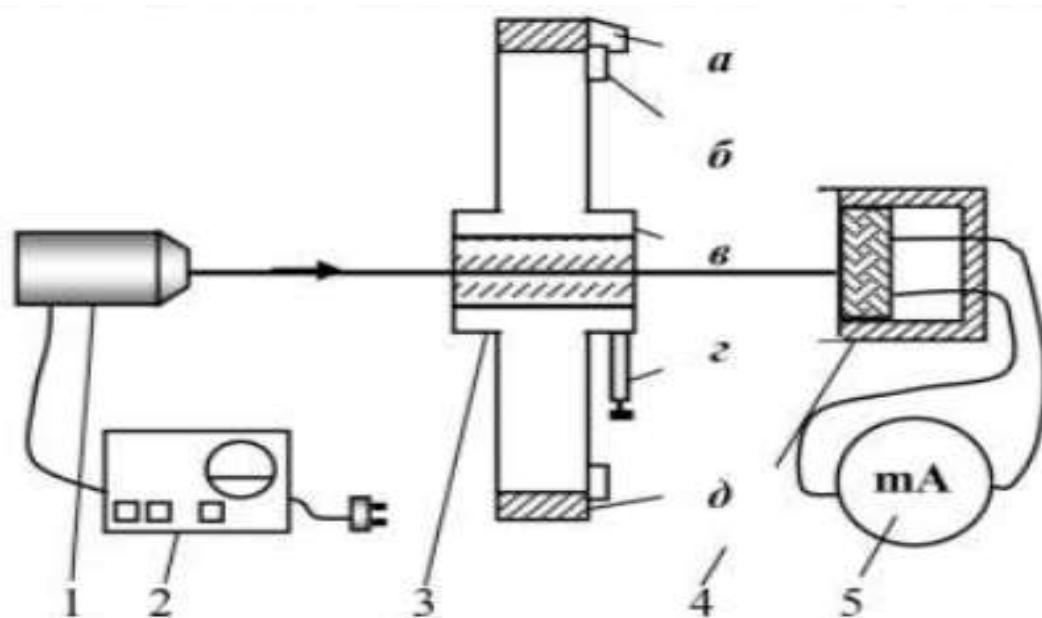


Рис. 6.10

Выполнение работы

1. Ознакомиться с приборами установки, со шкалами измерительных приборов, с передней панелью стабилизатора. 2. Настроить установку.

2.1. Осуществить, если этого не было сделано раньше, "поджиг" лазера, для чего подать на стабилизатор напряжение из сети, переведя тумблер "сеть" в верхнее положение (должна загореться сигнальная лампа). Далее в течение 3-5 минут лазер должен прогреться. Затем поставить ручку "ток нагрузки" в среднее положение; включением кнопки "поджиг" произвести "поджиг" лазера; установить ручку "ток нагрузки" в положение, соответствующее минимальной мощности излучения (до отказа влево).

2.2. Убедившись, что луч лазера устойчив, проверить, центрированы ли приборы 3 и 4 относительно луча, попадает ли свет на фотодиод.

2.3. Подключить к фотодиоду прибор для измерения фототока и убедиться, что при вращении (медленном) поляризатора интенсивность света, прошедшего через него, действительно меняется.

3. Определить степень поляризации лазерного луча.

3.1. Вращая поляризатор, и непрерывно следя за показаниями прибора, измерить J_{max} и J_{min} . Отметить положение поляризатора в эти моменты. Продолжая вращать поляризатор в ту же сторону, еще дважды сделать аналогичные измерения. Результаты записать в табл.6.3.

Таблица 6.3.

Номер измерения	J_{max}	J_{min}	P	φ_{max}	φ_{min}	$\Delta\varphi$
1						
2						

3.2. Для каждого из измерений вычислить степень поляризации P и ее среднее значение. Сделать вывод относительно P .

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{E_{max}^2 - E_{min}^2}{E_{max}^2 + E_{min}^2}$$

3.3. Вычислить углы $\Delta\varphi$ между двумя соседними положениями поляризатора, соответствующие J_{max} и J_{min} . Сделать вывод относительно $\Delta\varphi$.

4. Выполнить проверку закона Малюса (задание можно выполнять при условии, что для степени поляризации получено достаточно большое значение $P \geq 0,97$).

4.1. Вновь установить поляризатор в положение, соответствующее значению $J_{max} = J_0$, и записать угол α_0 , определяющий начальное положение поляризатора. Поворачивая поляризатор на разные (от начального положения) углы (удобно взять 10, 20, 30... 90°), измерить J . Результаты записать в табл. 7. 2.

Таблица 7.2

α , град	I	$\cos \alpha$	$\cos^2 \alpha$
0			
10			
20			
30			
...			
90			

4.2. По таблицам найти значения $\cos \alpha$ и вычислить $\cos^2 \alpha$. Построить график $J = f(\cos^2 \alpha)$ и сделать вывод о выполняемости закона Малюса.

4.3. Выключить лазер.

Примечание: так как свойства фотодиода при освещении лучом лазера изменяются, то для большей точности перед каждым измерением рекомендуется луч лазера перекрыть на несколько секунд.

Контрольные вопросы

1. Свет электромагнитные волны.
2. Естественный свет.
3. Линейно-поляризованный свет.
4. Частично-поляризованный свет.
5. Поляризаторы.
6. Степень поляризации частично-поляризованного света.
7. Закон Малюса.

8. Лазеры: принцип действия (инверсная заселенность, вынужденное излучение), устройство и работа лазера (твердотельного и газового); свойства луча лазера, использование лазера.

9. Фотодиод

10. Экспериментальное определение степени поляризации света.

11. Экспериментальная проверка закона Малюса.



ТЕМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ:

- ❖ Законы теплового излучения
- ❖ История создания лазера и этапы ее развития
- ❖ Резонаторы. Виды и работа. Применение и особенности
- ❖ Модуляция добротности резонатора и синхронизация мод лазера
 - ❖ Эффект самофокусировки
 - ❖ Элементарная теория дисперсии.
 - ❖ Физические основы комбинационного и молекулярного рассеивания света
 - ❖ Принципы работы параметрических генераторов света
 - ❖ CO₂ – лазеры
 - ❖ Способы измерения параметров и характеристик лазерного излучения
 - ❖ Твердотельные лазеры
 - ❖ Применение лазеров в связи и локации
 - ❖ Лазеры в медицине: типы и применение
 - ❖ Лазерные дальномеры. Принцип работы лазерных дальномеров
 - ❖ Газовые лазеры (на нейтральных атомах, ионные, на парах металлов, молекулярные...)
 - ❖ Рубиновые лазеры.
 - ❖ Неодимовые лазеры.
 - ❖ Гелий-неоновые лазеры.
 - ❖ Лазеры на иттрий-алюминиевом гранате.
 - ❖ Твердотельные лазеры с диодной накачкой.
 - ❖ Аргоновые лазеры.
 - ❖ Лазеры на углекислом газе.
 - ❖ Лазеры на красителях и F-центрах.
 - ❖ Полупроводниковые лазеры.
 - ❖ Газодинамические лазеры.
 - ❖ Химические и эксимерные лазеры.

- ❖ Лазеры на свободных электронах.
- ❖ Лазеры с распределенной обратной связью.
- ❖ Использование лазерного излучения в науке и информационных системах.
- ❖ Использование лазерного излучения в технике, производстве и военном деле.
- ❖ Использование лазерного излучения в медицине.
- ❖ Фазовое сопряжение и обращение волнового фронта.
- ❖ Оптическая бистабильность.



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для изучения теоретического содержания курса рекомендуется литература и интернет ресурсы.

Студент обязан вести конспект лекций.

При самостоятельном изучении вопросов студент должен обратить внимание на основные дидактические единицы, ответить на контрольные вопросы, решение задач и заданий и тестовые задания по изучаемому разделу.

При подготовке к практическим занятиям изучаемой теме необходимо ответить на вопросы раздела, а также ответить на тестовые задания по изучаемой теме.

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы, реферата (КР, Р) содержатся в данном разделе.

При подготовке к зачету (экзамену), по предложенным преподавателем вопросам, студенту дневной формы обучения, необходимо пройти самоконтроль по тестовым заданиям и контрольным вопросам.

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы, реферата (КР, Р)

Цель и задачи контрольной работы, реферата

Контрольная работа, реферат (от лат. *referre* – докладывать, сообщать)

– продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Цель и задачи контрольной работы, реферата:

- способствовать приобретению студентом опыта и навыков ведения научно-исследовательской работы, в том числе:
- работе с первоисточниками, подборки и анализа теоретической литературы;
- выстраиванию последовательной и логической структуры письменной учебной работы как научного исследования;
- привитию умения популярно излагать сложные вопросы;

- ознакомлению с правилами оформления исследовательских работ в ВУЗе.

Реферат – подготовительная ступень к написанию курсовой работы (проекта) и основа для написания студенческих работ, представляемых на конференциях.

Порядок выполнения контрольной работы, реферата

- Выполнение реферата включает несколько этапов работы: выбор темы, согласование ее с преподавателем, ведущим практические занятия;
- подбор и анализ литературы, изложенных в ней различных взглядов и концепций по данному вопросу, при необходимости – анализ практической ситуации исходя из ее теоретических аспектов;
- составление рабочего плана реферата, согласование его с преподавателем, ведущим практические занятия;
- написание реферата;
- оформление реферата;
- защита реферата на практическом занятии.

Изучение литературы по выбранной теме предполагает знакомство, просмотр следующих источников:

- учебники, учебные пособия;
- законодательные и нормативные акты;
- монографии, научные сборники;
- справочный материал;
- материалы периодической печати;
- Интернет-источники.

Рабочий план – это логическая основа реферата. От правильного его составления зависят структура, содержание, логическая связь частей. План не следует излишне детализировать, то есть можно главы не разбивать на параграфы. В нем в логической последовательности перечисляются основные вопросы темы.

Реферат должен содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- оглавление;
- введение;
- основной текст;

- заключение;
- библиографический список.

Введение – структурная часть реферата, вводящая читателя в суть проблематики ее основного текста. Объем введения должен составлять 2-3 абзаца (1-2 страницы печатного текста).

Во введении автор должен кратко обосновать актуальность освещаемой в реферате проблемы (вопроса), обосновать причины выбора темы, сформулировать цель реферата, представить его информационную базу.

Актуальность исследования должна отражать степень его важности в данный момент для теории и практики.

Цель – это результат, который должен получить автор. В ее формулировке рекомендуется использовать следующие слова: «выявить», «определить», «обосновать», «проанализировать и обобщить опыт», «раскрыть», «рассмотреть» и т. п.

Информационной базой исследования могут быть материалы местной или государственной статистики Республики Узбекистан, данные первичного учета и годовых отчетов предприятий, нормативно-справочные материалы, материалы проведенного анкетирования, наблюдения, результаты экспертного опроса, информационные ресурсы интернет-порталов и т.п.

Основной текст реферата должен отражать суть вопроса и содержать его подробное изложение. Объем основного текста 10-15 страниц (без Введения и Заключения). Структура основного текста реферата определяется темой, а также требованиями кафедры.

Материалы основного текста группируются в относительно законченные крупные проблемно-тематические структурные единицы: главы. Глава – крупная рубрика, имеющая самостоятельный заголовок. Главы могут делиться на параграфы.

Заключение – структурная часть реферата, завершающая его, где делаются обобщения, выводы и т.п. Основные выводы работы должны быть сформулированы в виде кратких, четких предложений и утверждений. Объем Заключения 1-2 абзаца (1-2 страницы).

Библиографический список должен содержать сведения об источниках, использованных при написании реферата: цитируемых, упоминаемых и т.д.

Библиографический список должен отвечать следующим требованиям:

- соответствовать теме реферата;
- включать разнообразные виды изданий: официальные, нормативные, справочные, научные, учебные и др.

На защите желательно использование иллюстративного материала (таблицы, рисунки), подготовленного заранее с использованием Microsoft Power Point.

Критерии оценки

- **оценка «отлично»** выставляется, если в реферате обоснована актуальность темы; проведен анализ позиций авторов изученных работ; высказана своя точка зрения на проблему, которой посвящен реферат и дано ей обоснование; сделаны общие выводы; оформление рукописи соответствует предъявляемым требованиям; при защите использовался иллюстративный материал;

- **оценка «хорошо»** выставляется, если в реферате обоснована актуальность темы; проведен анализ позиций авторов изученных работ; отсутствует свое отношение к освещаемой проблеме; сделаны выводы; оформление рукописи соответствует предъявляемым требованиям; при защите не использовался иллюстративный материал;

- **оценка «удовлетворительно»** выставляется, если в реферате обоснована актуальность темы; изложена позиция авторов изученных работ без анализа; отсутствуют свое отношение к освещаемой проблеме и выводы; оформление рукописи частично соответствует предъявляемым требованиям; при защите не использовался иллюстративный материал;

оценка «неудовлетворительно» выставляется, если реферат не отвечает предъявляемым требованиям.



ГЛОССАРИЙ

Активатор	Примесь, введенная в вещество для образования центров люминесценции.
Акустооптический эффект	Изменение некоторых оптических параметров вещества под действием акустических ультразвуковых колебаний.
Биофотоника(биоэнергия)	Раздел фотоники, связанный с изучением и практическим использованием взаимодействия фотонов с биологическими объектами; сюда же обычно относят биомедицинские использования лазерного излучения.
Видимое излучение или свет	Оптическое излучение, которое может непосредственно вызвать зрительное ощущение. Не существует точных пределов спектрального диапазона видимого излучения, так как они зависят от мощности достигающего ретины излучения и чувствительности глаза наблюдателя. За нижний предел принимают диапазон от 360 до 400 нм, а за верхний предел - 760 и 830 нм.
Время жизни уровня энергии	Время, в течение которого населенность данного уровня энергии убывает в раз.
Время релаксации	Время, в течение которого первоначальное отклонение значения какого-либо параметра квантовой системы от равновесного уменьшается в раз.
Вынужденное излучение	Когерентное электромагнитное излучение, возникающее при вынужденных переходах, совпадающее по направлению, частоте, фазе и поляризации с вынуждающим излучением.
Вынужденное комбинационное рассеяние	Когерентное рассеяние высокоинтенсивного оптического излучения в нелинейной среде, при котором частота рассеянного излучения выражается формулой: $v=v_0\pm nv_m$ где:

v - частота рассеянного излучения; v_0 - частота падающего излучения;

v_m - частота собственных колебаний рассеивающей молекулы;

n - целое число, а вероятность рассеяния пропорциональна квадрату интенсивности.

Добротность резонатора

Отношение энергии электромагнитного поля, запасенной в резонаторе, к энергии, теряемой за один период колебаний.

Инверсия населенностей

Неравновесное состояние квантовой системы, при котором населенность верхнего уровня энергии превышает населенность нижнего.

Индукрованный переход

Квантовый переход под действием внешнего электромагнитного поля.

Инфракрасное излучение

Оптическое излучение, у которого длины волн больше длин

волн видимого излучения.

Для инфракрасного излучения диапазон между 780 нм и 1 мм подразделяют на поддиапазоны: ИК-А [780-1400 нм], ИК-В (1,4-3 мкм), ИК-С [от 3 мкм до 1 мм].

Квантовая проволока

Объект нитеобразной формы с поперечными размерами, удовлетворяющими условию размерного квантования. Потенциальная энергия электрона в таком объекте ниже, чем за его пределами, и за счёт малых поперечных размеров [как правило, 1-10 нм] движение электрона ограничено в двух измерениях.

Движение вдоль оси нити остается свободным, в то время

как движение в других направлениях квантуется, и его энергия может принимать лишь дискретные значения.

Квантовая система	Отдельные частицы вещества или совокупности частиц, процессы в которых подчиняются законам квантовой механики.
Квантовая точка	Нанообъект, линейные размеры которого по трём измерениям близки длине волны электрона в материале данного нанообъекта и внутри которого потенциальная энергия электрона ниже, чем за его пределами, при этом движение электрона ограничено во всех трёх измерениях.
Квантовая электроника	Раздел фотоники, связанный с изучением и практическим применением методов усиления и генерации электромагнитного излучения, основанных на использовании явления вынужденного излучения в неравновесных квантовых системах.
Квантовая яма	Тонкий плоский слой полупроводникового материала (как правило, толщиной 1-10 нм) внутри которого потенциальная энергия электрона ниже, чем за его пределами, таким образом движение электрона ограничено в одном измерении. Движение в направлении, перпендикулярном к плоскости квантовой ямы квантуется, и его энергия может принимать лишь некоторые дискретные значения, называемые уровнями размерного квантования.
Квантовые кристаллы	Кристаллы, характеризующиеся большой амплитудой нулевых колебаний атомов (колебаний вблизи $T = 0$ К), сравнимой с кратчайшим межатомным расстоянием, вследствие чего они обладают необычными физическими свойствами, объяснимыми только в рамках квантовой теории.
Квантовый переход	Скачкообразный переход квантовой системы из одного состояния в другое, связанный с изменением ее энергии.

Лазер	Генератор когерентного электромагнитного излучения в оптическом диапазоне, основанный на использовании индуцированных переходов. Под оптическим диапазоном понимается диапазон длин волн от 10 ⁻⁹ до 10 ⁻³ м.
Лазерная биостимуляция	Активизация естественных физиологических процессов в биологических тканях под воздействием лазерного излучения.
Лазерное излучение	Электромагнитное излучение, испускаемое лазером в оптическом диапазоне длин волн.
Лазерные уровни энергии	Уровни энергии, используемые при генерации или усилении лазерного излучения.
Лазерный переход	Индуцированный переход между уровнями энергии или зонами.
Лазерный пинцет	Устройство для удержания нано- и микрочастиц вблизи фокуса специально сформированного лазерного луча, использующееся для целенаправленного перемещения таких частиц.
Линейный поляризатор	Оптический элемент или устройство, выходное излучение которого линейно поляризовано независимо от состояния поляризации входного излучения.
Магнитооптический эффект	Изменение некоторых оптических параметров вещества под действием магнитного поля.
Мода	Собственное колебание электромагнитного поля в оптическом резонаторе, характеризующееся определенной частотой и особенностью распределения поля в резонаторе.
Нанолазер	Устройство, генерирующее или усиливающее поверхностные плазмоны.

Нанотехнология	Применение научных знаний для изучения, проектирования, производства и управления строением материальных объектов преимущественно в нанодиапазоне с использованием зависящих от размера и структуры свойств этих объектов или присущих им явлений, которые могут отсутствовать у отдельных атомов и молекул или аналогичных макрообъектов.
Нанофотоника	Раздел фотоники, связанный с изучением и практическим применением физических явлений, возникающих при взаимодействии фотонов с объектами нанометровых размеров, в т.ч. с созданием устройств, в которых для генерации или поглощения света используют наноструктуры.
Наноэлектроника	Раздел электроники, изучающий методы проектирования и изготовления функциональных электронных устройств, компоненты которых имеют размеры в нанодиапазоне.
Направление поляризации	Направленность электрического вектора электромагнитной волны.
Населенность уровня энергии	Отношение числа частиц в единице объема на данном уровне энергии к его статистическому весу.
Оптический пробой	Нарушение структуры материала под действием лазерного излучения.
Оптическое излучение	Электромагнитное излучение с длинами волн, лежащими в пределах между областью перехода к рентгеновским лучам и областью перехода к радиоволнам.

Оптогенетика

Новая область нейробиологии, объединяющая оптические и генетические методы исследования нейронных связей (реакций, цепей) у интактных млекопитающих и других животных на высоких скоростях (единицей измерения являются миллисекунды], что необходимо для понимания процессов обработки информации мозгом.

Ось оптического резонатора

Геометрическое место точек, соответствующее экстремальному значению оптической длины пути для совокупности лучей, связанных с различными модами оптического резонатора.

Параметры Стокса

Совокупность четырёх вещественных величин, которая полностью описывает состояние поляризации монохроматического или квазимонохроматического излучения.

Плазмон

Квазичастица, отвечающая квантованию плазменных колебаний, которые представляют собой коллективные колебания плотности заряда свободного электронного газа.

Плазмонный резонанс

Возбуждение поверхностного плазмона на его резонансной частоте внешней электромагнитной волной. В случае наноразмерных металлических структур называется локализованным плазмонным резонансом.

Плоскость поляризации

Плоскость, содержащая вектор электрического поля и направление распространения электромагнитного излучения.

Поляризация

Ограничение колебаний электрического вектора определенными направлениями. Это фундаментальное свойство оптического излучения трактуют, исходя из концепции наличия по-перечной волны электромагнитного поля, т.е. что колебания совершаются перпендикулярно к направлению её распространения. Обычно эти колебания рассматривают применительно к электрическому вектору.

Поляритон	Составная квазичастица, возникающая при взаимодействии фотонов и элементарных возбуждений среды.
Поперечная мода	Мода, характеризуемая числом узлов поля, расположенных в направлении каждой из обеих поперечных координат, отражающих геометрию оптического резонатора.
Продольная мода	Мода, характеризуемая числом узлов поля, расположенных в направлении продольной оси оптического резонатора.
Пучок лазерного излучения	Лазерное излучение, заключённое в телесном угле.
Релаксация	Процесс перехода квантовой системы из неравновесного состояния в равновесное.
Сверхлюминесценция	Вынужденное излучение, возникающее в процессе усиления излучения в лазерной активной среде. Минимальная площадь той части поперечного сечения пучка лазерного излучения, через которую проходит заданная доля энергии или мощности лазерного излучения.
Сечение пучка лазерного излучения	Отнесение поляризованного излучения к какому-либо типу: линейно поляризованному, хаотически поляризованному, с круговой (циркулярной) или эллиптической поляризацией, неполяризованному.
Состояние поляризации	Излучение, возникающее в результате спонтанных переходов.
Спонтанное излучение	Самопроизвольный переход, не зависящий от внешнего воздействия.
Спонтанный переход	Оптическое излучение, у которого длины волн меньше длин волн видимого излучения.
Ультрафиолетовое излучение	Для ультрафиолетового излучения диапазон между 100 и 400 нм подразделяют на поддиапазоны: УФ-А (315-400 нм), УФ-В (280-315 нм), УФ-С (100-280 нм).

Уровень энергии	Одно из возможных дискретных значений энергии квантовой системы.
Фотодиссоциация	Распад молекулы на атомы и радикалы при поглощении оптического излучения.
Фотоника	Область науки и техники, занимающаяся фундаментальными и прикладными исследованиями оптического излучения, а также созданием на их базе устройств различного назначения.
Частота лазерного перехода	Частота излучения, возникающего при вынужденном переходе между лазерными уровнями энергии.
Электрооптический эффект	Изменение некоторых оптических параметров вещества под воздействием электрического поля.
Энергетическая зона	Ряд уровней энергии, расширенных под действием внешних или внутренних полей таким образом, что эти уровни перекрываются.
Энергия излучения	Энергия, переносимая электромагнитными волнами.
Фотосенсибилизатор	Природное или искусственно синтезированное вещество, способное поглощать свет и индуцировать химические реакции, которые в его отсутствие не происходят.
Фотодинамическая терапия	Метод терапии злокачественных опухолей, основанный на введении в организм фотосенсибилизаторов, локализующихся преимущественно в опухоли, и воздействии света с определенной длиной волны.
Оптическая сенсорика	Раздел фотоники, связанный с разработкой принципов, методов и устройств диагностики с использованием оптического излучения.
Волоконно- оптическая сенсорика	Раздел оптической сенсорики, целью которого является разработка новых принципов и методов диагностики с использованием волоконно-оптических компонентов.

Оптоэлектроника или фотоэлектроника	Область науки и техники, изучающая эффекты взаимодействия между электромагнитными волнами оптического диапазона и электронами вещества и охватывающая проблемы создания оптоэлектронных приборов, в которых эти эффекты используются для получения, обработки, передачи, хранения и отображения информации.
Кремниевая фотоника	Раздел фотоники, в рамках которой исследуются возможности создания фотонных интегральных схем на одном кристалле кремния.
Оptическая информатика	Раздел фотоники, связанный с созданием технологий передачи, приема, обработки, хранения и отображения информации с помощью потока фотонов.
Радиофотоника	Раздел оптоинформатики, решающий проблемы обработки СВЧ (сверхвысокочастотное) - сигналов с помощью оптических процессов, а также проблемы передачи, приема и обработки информации путем совместного использования электромагнитных волн оптического и СВЧ (сверхвысокочастотное) - диапазонов, и построения на такой основе специфических элементов, приборов и систем.
Оptическая связь	Способ передачи информации, использующий в качестве носителя информационного сигнала электромагнитное излучение оптического диапазона.
Квантовые коммуникации	Раздел оптической связи, связанный с изучением и практическим применением методов передачи

Лазерные информационные системы	информации фотонами, находящимися в неклассических (квантовых) состояниях.
Бюджет мощности оптической системы связи	Информационные системы, в которых для переноса и/или обработки информации используется лазерное излучение.
Интрадинный приём сигнала	Разность между отношением сигнал-шум на приёмнике оптической системы связи (в дБ) и требуемым для её работы отношением сигнал-шум (в дБ).
Дисперсия волоконно-оптической линии связи	Детектирование оптического сигнала в когерентных сетях связи, заключающееся в смешивании сигнала с опорным излучением, при условии, что несущая частота опорного излучения отличается от несущей частоты сигнала на величину, меньшую полосы сигнала.
Квантовая криптография	Различие временных задержек компонентов оптического сигнала в волоконно-оптической линии связи, обусловленное различием их групповых скоростей, вызывающее искажение формы и длительности информационных сигналов.
Когерентное детектирование	Система защиты передаваемой по сети оптической связи информации, в которой используются квантовые свойства частиц, находящихся в неклассических состояниях.
Когерентные системы связи	Принцип детектирования оптических сигналов, заключающийся в том, что оптический сигнал смешивается с опорным излучением (ОИ) и суммарное излучение поступает на несколько фотодиодов, преобразующих его в электрический сигнал биений.
	Системы связи, использующие когерентное детектирование.

Когерентный оптический приемник с цифровой обработкой сигналов Когерентный оптический приёмник, в котором амплитудная и фазовая информация, переносимая оптическим сигналом, преобразуется в электрическую форму, оцифровывается и обрабатывается для компенсации рассинхронизации частот и фаз источника опорного

излучения и несущей оптического сигнала, для компенсации хроматической и поляризационной модовой дисперсии, для синхронизации и фазовой диверсификации, а также для декодирования цифровой информации.

Компенсация дисперсии

Восстановление формы и длительности информационных сигналов путем компенсации задержек компонент оптического сигнала в волоконно-оптической линии связи с дисперсией.

Электронная компенсация дисперсии

Компенсация дисперсии, осуществляемая в приёмнике путём обработки детектированного электрического сигнала.

**Приложение. Основные теплофизические и оптические параметры некоторых материалов
[19-22]**

Параметры металлов

Металл	Физические параметры							
	плотность, 10^3 кг/м ³	теплопро- водность, k , Вт/мК	теплоем- кость, c , Дж/кгК	температура плав- ления, $T_{пл}$, °C	температура кипе- ния, $T_{кип}$, °C	теплота плавления, L^m , 10^6 Дж/кг $пл$	теплота ис- парения, L^m , 10^6 Дж/кг $и$	коэффициен- т отражения R , (1,06 мкм)
Al	2,7	233	920	660	2447	0,396	10,9	0,93
Au	19,3	300	128	1063	2700	0,065	1,65	0,98
Bi	9,7	8	122	271	1559	0,052	0,72	0,55
Cr	7,1	45	460	1903	2642	0,280	6,71	0,57
Cu	8,2	373	386	1083	2595	0,205	4,78	0,91
Fe	7,9	50	450	1535	2900	0,278	7,0	0,63
Ni	8,7	68	440	1453	2800	0,303	6,48	0,74
V	6,0	31	514	1730		0,344	8,98	0,55
W	19,3	190	105	3380	5530	0,191	4,35	0,68

Ориентировочные значения параметров неметаллических материалов

Материал	Физические параметры					
	плотность, , 10^3 кг/м ³	теплопро- вод- ность, k , Вт/мК	теплоемкость, c , 10^3 Дж/кгК	температура раз- рушения, T , ^0C p	показатель по- глощения, , см ⁻¹ (10,6 мкм)	поглощающая способность, A
бумага	0,7	0,25	1,5	600	100	0,55
фанера	0,9	0,5	2,5	1800	100	0,8
керамика	1,5	0,8	0,6	1500	100	0,9
пластмасса	2,2	0,5		600	50	0,5
стекло	2,3	0,75	0,8	1700		0,9
резина	1,2	0,15	0,9	900		

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ш.М. Мирзиёев. Стратегия нового Узбекистана. Ташкент: 2021 г. 197-305 стр., -500 с.
2. С.О Саидов. Физика лазеров. Учебник. Бухара: 2022 г. Изд. Фан ва таълим. -252 с.
3. С.О. Саидов. Учебное пособие. Основы физики лазеров и лазерных технологий. Бухара: 2023 г. Изд. Камолот. -356 с.
4. В. С. Айрапетян, О. А. Романовский. Лазерная физика. Практикум. Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 80 с.
5. С.М. Курашев. Физика. Волновые процессы, оптика и атомная физика. Сборник задач. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 119 с.
6. Вейко В.П., Шахно Е.А. Лазерные технологии в задачах и примерах: Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – 88 с.
7. Э.А. Бибикова, Н.Д. Кундикова, А.А. Шульгинов. Нелинейная оптика. Задания для магистрантов: учебное пособие / – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2022. – 40 с.
8. Кирин И.Г. Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Лазерная техника и лазерные технологии»: методические указания/ И.Г.Кирин; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ – 2019.- 34 с.
9. Голубев В.С., Лебедев Ф.В. Физические основы технологических лазеров. – М.: Высшая школа, 1987.
10. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989.
11. Вейко В.П., Метев С.М. Лазерные технологии в микроэлектронике. – София: Изд. Болгарской АН, 1991.
12. Вейко В.П. Лазерная обработка пленочных элементов. – Л.: Машиностроение, 1986.
13. Турыгин И.А. Прикладная оптика. – М.: Машиностроение, 1966.
14. Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов Г.С., Ходыко Ю.В. Действие излучения большой мощности на металлы. – М.: Наука, 1970.
15. Рэди Дж.Ф. Действие лазерного излучения. – М.: Мир, 1974.
16. Вейко В.П., Либенсон М.Н. Лазерная обработка. – Л.: Лениздат, 1973.

17. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Лазерная техника и технология. Лазерная сварка металлов, т. 5. – М.: Высшая школа, 1988.
18. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Лазерная техника и технология. Основы лазерного термоупрочнения сплавов, т. 6. – М.: Высшая школа, 1988.
19. Лазеры в технологии. Под ред. М.Ф. Стельмаха. – М.: Энергия, 1975.
20. Таблицы физических величин. Справочник. Под. ред. акад. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976.
21. Крылов К.И., Прокопенко В.Т., Митрофанов А.С. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. – Л.: Машиностроение, 1978.
22. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1975.
23. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1988.
24. Кошкин Н.И. Элементарная физика: справочник. – М.: Наука, 1991.
25. Яковлев Е.Б. Лазерное оборудование, автоматизация и контроль технологических процессов. Конспект лекций. Часть I. Учебное пособие. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2002.
26. Вейко В.П. Технологические лазеры и лазерное излучение. Опорный конспект лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008.
27. Вейко В.П. Лазерная микрообработка. Опорный конспект лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007.
28. Шахно Е.А. Аналитические методы расчета лазерных микро- и нано- технологий. Учебное пособие. Издание СПбГИТМО (ТУ), 2009.
29. Шахно Е.А. Физические основы применения лазеров в медицине. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2012.
30. Серебряков В.А. Лазерные технологии в медицине. Издание СПбГИТМО (ТУ), 2009.
31. Вейко В.П. Лазерное формирование микрооптических элементов. Опорный конспект лекций. Издание СПбГИТМО (ТУ), 2008.
32. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.

33. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964.
34. Справочник по специальным функциям. Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. – М.: Наука, 1977.
35. Вейко В.П., Либенсон М.Н., Червяков Г.Г., Яковлев Е.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика. М.: Физмат- лит, 2008.
36. Дитчберн Р. Физическая оптика. М.: Наука, 1965.

РЕСУРСЫ СЕТИ «Интернет»

<http://medteh.info>

<http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/6519/20117-8.pdf>

<http://www.decoder.ru/media/file/0/378.pdf>

<https://books.ifmo.ru/file/pdf/2386.pdf>

[https://dl.booksee.org/genesis/792000/3e4e7adeb40dd9afe4dd1a43cd6e1fee/_as/\[Menushenkov,_Nevolin,_Petrovsky\]_Fizicheskie_osn_o\(BookSee.org\).pdf](https://dl.booksee.org/genesis/792000/3e4e7adeb40dd9afe4dd1a43cd6e1fee/_as/[Menushenkov,_Nevolin,_Petrovsky]_Fizicheskie_osn_o(BookSee.org).pdf)

<https://openedu.ru/> - «Открытое образование»;

<https://universarium.org/> - «Универсариум»;

<https://www.edx.org/> - «EdX»;

<https://www.lektorium.tv/> - «Лекториум»;

<https://openedu.ru/course/> - «Открытое образование», Каталог курсов, МООК: «Системы автоматизированного проектирования аддитивных технологий»;

<https://vse-kursy.com/onlain/782-osnovy-cifrovoi-tehniki.html> - Основы цифровой техники

С.О. Саидов

**СПЕЦПРАКТИКУМ ПО
ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКЕ И
ЛАЗЕРНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

(Учебное пособие для студентов и преподавателей профильных вузов)

Редактор:

Э. Эшов

Технический редактор:

Д. Абдурахмонова

Корректор:

М. Шодиева

Художественный руководитель:

М. Сатторов

Издательская лицензия № 022853. 04.03.2022.

Разрешение на печать с оригинального макета: 02.04.2024.

Формат 60x84. Гарнитура Times New Roman 1/16.

Офсетная печать. Бумага для офсетной печати.

Печатная форма 6,75. Тираж 100 экз. Заказ № 336.



**ООО “БУХОРО ДЕТЕРМИНАНТИ” отпечатано в типографии, город Бухара ул. Намозгоҳ 24
+998 91 310 27 22**