

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОПТИКА

Методические указания по выполнению практических работ

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Медицинская физика»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	2
Тема 1. Основы электромагнитной теории света.	5
Тема 2. Основные понятия геометрической оптики.	6
Тема 3. Построения в оптических системах.	7
Тема 4. Интерференция света.	9
Тема 5. Основные интерференционные схемы.	10
Тема 6. Временная когерентность, длина и время когерентности; спектральное и временное рассмотрение.	11
Тема 7. Радиус и степень пространственной когерентности, их оценки для полей тепловых источников и лазеров.	12
Тема 8. Применение интерферометров в научных исследованиях и технике: измерение малых смещений, рефрактометрия.	14
Тема 9. Явление дифракции.	15
Тема 10. Применение векторных диаграмм для качественного анализа дифракционных картин.	16
Тема 11. Дифракция на круглом отверстии и круглом экране.	18
Тема 12. Дифракция Фраунгофера на прямоугольном отверстии и щели.	19
Тема 13. Дифракция рентгеновских лучей.	20
Тема 14. Дисперсия света.	21
Тема 15. Поглощение света.	22
Тема 16. Поляризация света.	24
Тема 17. Двойное лучепреломление.	25
Тема 18. Рассеяние света.	26

Введение

Актуальность учебной дисциплины «Оптика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов теоретико-методологических компетенций, практических умений на которых базируется профессиональная деятельность в физике. В современных условиях важнейшим элементом подготовки бакалавров в области физики является формирование у них самостоятельности и культуры научного мышления, способности вести научную и профессиональную деятельность, навыков постановки целей, задач при решении проблемных ситуаций.

Целью лабораторных занятий является формирование профессиональных компетенций бакалавра по направлению 03.03.02 Физика, связанных со способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Основные задачи дисциплины:

- понимание физической картины мира при изучении световых явлений, оптических эффектов и взаимодействия света с веществом;
- применение теоретических знаний при решении задач.

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

ИД-2_{УК-1} осуществляет поиск, отбор и систематизацию информации для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации

ИД-3_{УК-1} определяет и оценивает риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбирает оптимальный вариант её решения.

ИД-1_{ОПК-1}

использует знания физических законов, процессов, явлений, а также поведение физических объектов при различных внешних условиях, при решении задач в своей профессиональной деятельности.

ИД-2_{ОПК-1}

использует математический аппарат и методы математического и численного моделирования для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования физических систем, явлений и процессов в своей профессиональной деятельности.

ИД-3_{ОПК-1}

способен сформулировать и решить задачу в своей профессиональной деятельности, опираясь на свои знания в области физико-математических и естественных наук.

ИД-1_{ОПК-2}

проводит научные исследования физических объектов и процессов с помощью экспериментальных методов исследования, а также с использованием теоретического анализа и математического и численного моделирования;

ИД-2_{ОПК-2}

проводит обработку полученных экспериментальных данных с использованием методов теории обработки результатов экспериментальных измерений, а также согласно требований нормативных документов

ИД-3_{ОПК-2}

проводит анализ полученных результатов, а также составляет отчет по учебно-исследовательской деятельности, с учетом требований представления результатов исследований, сопоставляя их с известными аналогами

ИД-4_{ОПК-2}

грамотно представляет результаты теоретического и экспериментального исследования в отчетных материалах.

ИД-1_{ПК-1}

способен оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов по тематике исследования.

В результате освоения дисциплины студент должен продемонстрировать:

Готовность осуществлять поиск, отбор и систематизацию информации в области оптики для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации

Готовность определять и оценивать риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбор оптимального варианта её решения.

Готовность применять основные законы физической оптики и активно применять эти знания для решения фундаментальных задач в своей профессиональной деятельности.

Готовность использовать математический аппарат физической оптики для описания экспериментального исследования физических систем в своей профессиональной деятельности.

Способен сформулировать и решить задачу в своей профессиональной деятельности, опираясь на свои знания в области физической оптики.

Готовность проводить научные исследования физических объектов с помощью экспериментальных методов исследования физической оптики.

Готовность проводить обработку полученных экспериментальных данных с использованием методов теории обработки результатов экспериментальных измерений, а также согласно требований нормативных документов.

Готовность проводить анализ полученных результатов, а также составлять отчет по учебно-исследовательской деятельности, с учетом требований представления результатов исследований, сопоставляя их с известными аналогами.

Готовность грамотно представлять результаты экспериментального исследования в отчетных материалах.

Готовность оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов в области физической оптики по тематике исследования.

Цель данного практикума – описание последовательности, основного содержания, методики выполнения практических занятий по учебному курсу и (или) самостоятельной подготовки к ним. Занятия проводятся в форме практического занятия.

При решении задач практического занятия следует выполнять следующие правила оформления:

1. Условия задач переписываются полностью без сокращений. Обязательно записывается номер задачи с указанием номера лабораторного занятия.

2. Текст и графики должны быть выполнены без помарок и исправлений. Допускается оформление на компьютере.

3. Необходимо указать основные законы и формулы, на которых базируется решение, и дать формулировку этих законов, разъяснив буквенные обозначения формул. Если при решении задач применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физический закон или не являющаяся определением физической величины, то следует привести ее вывод.

4. Рекомендуются сделать чертеж, эскизный рисунок или построить график, поясняющий содержание задачи или ход решения.

5. Решения задач должны сопровождаться исчерпывающими, но краткими словесными объяснениями, раскрывающими физический смысл употребляемых формул.

6. Необходимо решить задачу в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи или введенных самостоятельно.

7. Ответ задачи в общем виде и числовое значение искомой величины с обязательным указанием размерности, предваряемые словом «**ОТВЕТ:**», записываются отдельно после решения. Решения отдельных задач разделяются.

8. В случае если задание при проверке не зачтено, студент обязан представить его на повторную проверку, включив в его те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с незачтенной работой.

9. Студент должен быть готов дать устные пояснения по существу решения задач, входящих в его расчетное задание.

10. При несоответствии оформления работы указанным требованиям она не будет зачтена.

ТЕМА 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ТЕОРИИ СВЕТА.

Задачи для решения в аудитории.

1. Лазер излучает импульсы с длительностью $\tau=0,16$ мкс с энергией $W=10$ Дж. Излучение фокусируется на круглую мишень диаметром $d=0,1$ мм, расположенную перпендикулярно пучку и имеющую коэффициент отражения $\rho=0,5$. Определить среднюю величину светового давления на мишень и максимальное значение напряженности электрического поля в падающем на мишень пучке.
2. Рубиновый лазер (длина волны $\lambda=693,5$ нм) излучает световой импульс с длительностью $\tau=10^{-7}$ с и энергией $W=0,3$ Дж. Резонатор лазера состоит из двух зеркал. Первое имеет коэффициент отражения $\rho_1=100\%$, второе – $\rho_2=90\%$. Радиус пучка света $r=2,5$ мм. Найти среднюю силу, с которой свет действует на первое зеркало во время излучения импульса.
3. В идеальном колебательном контуре с емкостью $C=20$ пФ и индуктивностью $L=0,5$ мГн максимальный ток $I_m=1,0$ мА. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0 , период колебаний T и полную энергию колебаний.
4. В идеальном колебательном контуре (ИКК) заряд конденсатора изменяется по закону $Q(t) = 2\cos(2\pi \cdot 10^6 t)$, нКл. Определите собственную циклическую частоту контура ω_0 , амплитуду колебаний заряда Q_m и максимальный ток в контуре I_m .
5. Максимальный ток в идеальном колебательном контуре (ИКК) $I_m=1$ мА, а максимальный заряд на обкладках конденсатора $Q_m=10^{-8}$ Кл. Определите собственную циклическую частоту ω_0 и период T колебаний в данном ИКК.
6. Идеальному колебательному контуру, состоящему из конденсатора емкостью $C=2$ мкФ и катушки индуктивностью $L=0,4$ Гн, передали энергию $W=4$ Дж. Определите амплитудные значения заряда Q_m , напряжения U_m и тока I_m в контуре, а также действующие значения тока I_d и напряжения U_d .
7. Ток в антенне радиопередатчика изменяется по закону $I=0,5 \sin(3 \cdot 10^8 t)$, мА. Для излучающейся электромагнитной волны определите циклическую частоту ω и длину волны λ .

Задачи для самостоятельного решения.

1. В излучающей радиоантенне ток изменяется по закону $I=2 \sin(2\pi \cdot 10^7 t)$, мА. Определите циклическую частоту ω и длину волны λ излучающейся электромагнитной волны.
2. Идеальному колебательному контуру, состоящему из конденсатора емкостью $C=2$ пФ и катушки индуктивностью $L=1,0$ мкГн, сообщили энергию $W=2$ мкДж. Определите амплитудные значения заряда Q_m , напряжения U_m и тока I_m в контуре, а также действующие значения тока I_d и напряжения U_d .

ТЕМА 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ.

Задачи для решения в аудитории.

1. Поверх выпуклого сферического зеркала радиусом $R=20$ см налили тонкий слой глицерина. Определить главное фокусное расстояние такой системы.
2. Луч света падает на грань стеклянной призмы перпендикулярно её поверхности и выходит из противоположной грани отклонившись на угол $\delta=25^\circ$ от первоначального направления. Определить преломляющий угол θ призмы.
3. Фокусное расстояние вогнутого зеркала $f=15$ см. Зеркало дает действительное изображение предмета, уменьшенное в три раза. Определить расстояние от предмета до зеркала.
4. Показать, что при преломлении в призме с малым преломляющим углом θ луч отклоняется на угол $\alpha \approx (n-1)\theta$, независимо от угла падения, если последний также мал.
5. Столб вбит на дно реки и 1 м столба возвышается над водой. Найти длину тени столба на поверхности и дне реки, если высота Солнца над горизонтом $\alpha=30^\circ$, глубина реки 2 м, показатель преломления воды $n=1.33$.
6. Преломляющий угол стеклянной призмы равен 30° . Луч света падает на грань призмы перпендикулярно её поверхности и выходит в воздух из другой грани, отклоняясь на угол $\delta=20^\circ$ от первоначального направления. Определить показатель преломления стекла n .
7. Плосковыпуклая линза имеет оптическую силу $\Phi_1=4$ дптр. Выпуклую поверхность линзы посеребрили. Найти оптическую силу Φ_2 такого сферического зеркала.
8. Для некоторой стеклянной призмы угол наименьшего отклонения луча равен преломляющему углу призмы. Найти последний.
9. Плосковыпуклая линза имеет оптическую силу $\Phi_1=4$ дптр. Выпуклую поверхность линзы посеребрили. Найти оптическую силу Φ_2 такого сферического зеркала.
10. Расстояние от освещенного предмета до экрана 1 м. Линза, помещенная между ними, дает четкое изображение предмета на экране при двух положениях, расстояние между которыми 20 см. Найти фокусное расстояние линзы.

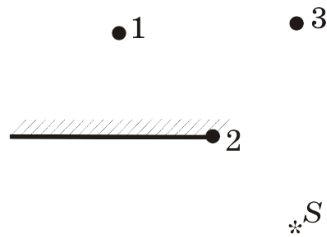
Задачи для самостоятельного решения

1. Найти пределы, в которых может меняться угол отклонения луча при прохождении стеклянной призмы с преломляющим углом $\theta=60^\circ$.
2. Вогнутое сферическое зеркало дает на экране изображение предмета увеличенное в 4 раза. Расстояние от предмета до зеркала равно 25 см. Определить радиус кривизны зеркала.
3. Пучок параллельных лучей падает на толстую стеклянную пластину под углом $i=60^\circ$ и, преломляясь, переходит в стекло. Ширина a пучка в воздухе равна 10 см. Определить ширину b пучка в стекле.
4. Каково наименьшее возможное расстояние между предметом и его действительным изображением, создаваемым собирающей линзой с главным фокусным расстоянием $f=12$ см.
5. Найти длину изображения l' стрелки, расположенной вдоль оптической оси, вплотную к рассеивающей линзе, если длина l самой стрелки равна фокусному расстоянию линзы f . Решение обосновать построением.
6. Найти оптическую силу и фокусные расстояния тонкой стеклянной линзы в жидкости с показателем преломления $n=1.7$, если её оптическая сила в воздухе $\Phi_0=-5$ дптр.

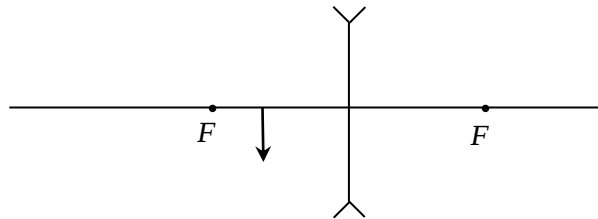
ТЕМА 3. ПОСТРОЕНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.

Задачи для решения в аудитории.

1. Какая из точек является изображением источника в плоском зеркале?

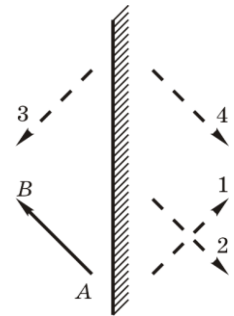


2. Постройте изображение предмета в линзе. Охарактеризуйте изображение, определите увеличение.
3. При переходе луча света из одной среды в другую угол падения равен 53° , а угол преломления 37° .

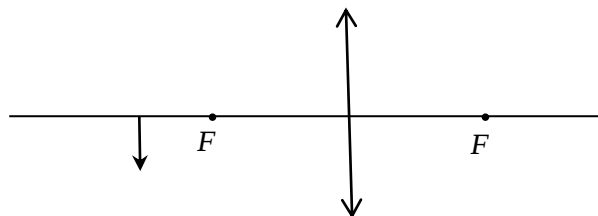


Каков относительный показатель преломления второй среды относительно первой? (Сделайте чертеж, с указанием углов.)

4. С помощью собирающей линзы получили изображение светящейся точки. Действительное изображение находится на расстоянии 0,2 м от линзы. Фокусное расстояние линзы равно 0,15. На каком расстоянии от линзы находится предмет?
5. Угол между плоским зеркалом и падающим лучом света увеличили на 8° . На сколько при этом изменился угол между падающим и отраженным от зеркала лучами?
6. Какая из стрелок является изображением стрелки АВ в плоском зеркале?



7. Постройте изображение предмета в линзе. Охарактеризуйте изображение, определите увеличение.

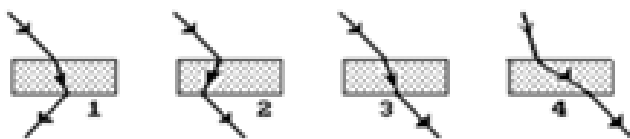


8. Синус предельного угла полного внутреннего отражения на границе стекло – воздух равен $\frac{8}{13}$. Чему равен абсолютный показатель преломления стекла? (Ответ округлить до сотых.)
9. С помощью собирающей линзы получили изображение светящейся точки. Точка находится на расстоянии 1,2 м от линзы. Изображение находится на расстоянии 0,4 м от линзы. Чему равно фокусное расстояние линзы?

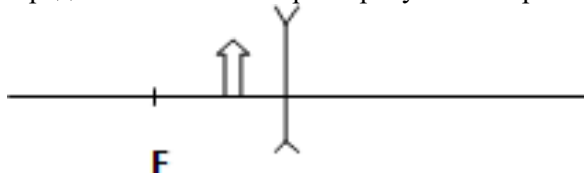
10. Угол падения луча на зеркальную поверхность равен 30° . Чему равен угол между падающим и отраженным лучами?

Задачи для самостоятельного решения.

1. Луч света из воздуха падает на стеклянную плоскопараллельную пластинку. На каком рисунке показан правильно ход этого луча?



2. Постройте изображение предмета в линзе. Охарактеризуйте изображение, определите увеличение.



3. Предельный угол полного отражения для некоторого вещества оказался равным 30° . Найти показатель преломления этого вещества?
4. С помощью собирающей линзы получили изображение светящейся точки. Точка находится на расстоянии 0,2 м от линзы. Изображение находится на расстоянии 0,2 м от линзы. Чему равно фокусное расстояние линзы?
5. Угол падения луча на зеркальную поверхность равен 20° . Чему равен угол между падающим и отраженным лучами?

ТЕМА 4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА.

Задачи для решения в аудитории.

1. На пути монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм помещена плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной 0,1 мм. Свет падает на нее нормально. На какой угол следует повернуть пластину, чтобы оптическая длина пути изменилась на половину длины волны?
2. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной 5 мм. На сколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку: 1) нормально; 2) под углом $\alpha = 30^\circ$?
3. Найти все длины волн в диапазоне видимого света (от 0,38 до 0,76 мкм), которые будут: 1) максимально усилены; 2) максимально ослаблены при оптической разности хода интерферирующих лучей равной 1,8 мкм.
4. Два параллельных монохроматических луча падают нормально на стеклянную призму ($n = 1,5$) и выходят из нее. Расстояние между падающими лучами 2 см. Преломляющий угол призмы $\alpha = 30^\circ$. Определить разность фаз лучей при выходе из призмы.
5. Расстояние между двумя когерентными источниками света с длиной волны 0,5 мкм равно 0,1 мм. Расстояние между интерференционными полосами в средней части экрана равно 1 см. Найти расстояние от источников до экрана.
6. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние от щелей до экрана 3 м. Определить длину волны света, если ширина полос интерференции на экране равна 1,5 мм.
7. В опыте Юнга расстояние между щелями 0,8 мм. На каком расстоянии от щелей следует поставить экран, чтобы ширина интерференционной полосы оказалась равной 2 мм? Длина волны 0,5 мкм.
8. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние от них до экрана равно 3 м. Длина волны света 0,6 мкм. Определить ширину полос интерференции на экране.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Расстояние между двумя когерентными источниками света ($\lambda=0,5$ мкм) равно 0,1 мм. Расстояние между интерференционными полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние от источников до экрана.
2. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны, испускаемую источником монохроматического света, если ширина полос интерференции на экране равна 1,5 м.
3. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 0,8 мм, длина волны $\lambda=640$ нм. На каком расстоянии от щелей следует разместить экран, чтобы ширина интерференционной полосы составила 2 мм.
4. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0,5 мм, расстояние от них до экрана 5 м. Длина волны света $\lambda=0,6$ мкм. Определить ширину полос интерференции на экране.

ТЕМА 5. ОСНОВНЫЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ СХЕМЫ.

Задачи для решения в аудитории.

1. Для интерференции используется схема Ллойда. Расстояние от источника света ($\lambda=0.6$ мкм) до экрана равно 2 м, расстояние от источника до зеркала 0.55 мм. Что будет наблюдаться в точке, расположенной на таком же расстоянии от зеркала, свет или темнота.
2. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0.3 мм, расстояние от них до экрана 3 м. Длина волны света $\lambda=0.6$ мкм. Определить ширину полос интерференции на экране.
3. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы 4 м. Чему равна длина волны падающего света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3.6 мм.
4. Плоско-выпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны 40 см соприкасается выпуклой поверхностью со стеклянной пластинкой. При этом в отраженном свете радиус некоторого кольца 2.5 мм. Наблюдая за данным кольцом, линзу осторожно отодвинули от пластинки на 5 мкм. Каким стал радиус этого кольца?
5. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны, испускаемую источником монохроматического света, если ширина полос интерференции на экране равна 1.5 мм.
6. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволочку, расположенную параллельно линии соприкосновения пластинок и находящуюся на расстоянии 75 мм от неё. В отраженном свете ($\lambda=0.5$ мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр проволочки, если на протяжении 30 мм насчитывается 16 светлых полос.
7. Определить радиус кривизны плосковыпуклой линзы, которая вместе с пластинкой позволяет наблюдать кольца Ньютона при освещении желтой линией натрия 589 нм, причем в отраженном свете расстояние между первым и вторым светлыми кольцами равно 0.5 мм.
8. Расстояния от бипризмы Френеля до узкой щели и экрана равны соответственно 25 см и 100 см. Бипризма стеклянная с преломляющим углом $20'$. Найти длину волны света, если ширина интерференционной полосы 0.55 мм.

Задачи для самостоятельного решения.

1. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 0.8 мм, длина волны $\lambda=640$ нм. На каком расстоянии от щелей следует разместить экран, чтобы ширина интерференционной полосы составила 2 мм.
2. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить толщину слоя воздуха там, где в отраженном свете ($\lambda=0.6$ мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.
3. На тонкий стеклянный клин ($n=1.55$) падает нормально монохроматический свет. Двугранный угол между поверхностями клина равен $2'$. Определить длину световой волны, если расстояние между смежными интерференционными максимумами в отраженном свете равно 0.3 мм.
4. Плоская световая волна падает на бизеркала Френеля, угол между которыми $2'$. Определить длину волны света, если ширина интерференционной полосы на экране 0.55 мм.

ТЕМА 6. ВРЕМЕННАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ, ДЛИНА И ВРЕМЯ КОГЕРЕНТНОСТИ; СПЕКТРАЛЬНОЕ И ВРЕМЕННОЕ РАССМОТРЕНИЕ.

Задачи для решения в аудитории.

1. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин в результате стекания жидкости. Интерференция наблюдается в отраженном нормально к поверхности свете. Расстояние между соседними интерференционными полосами при использовании красного ($\lambda = 650$ нм) света равно 3 мм. Каким будет это расстояние при освещении пленки синим ($\lambda = 400$ нм) светом ?
2. На мыльную пленку нормально падает пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки отраженный свет с длиной волны 0,55 мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции?
3. На мыльную пленку нормально падает пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки прошедший свет с длиной волны 0,40 мкм окажется максимально ослабленным в результате интерференции?
4. Пучок монохроматического света с длиной волны 0,55 мкм падает под углом 45° на тонкую мыльную пленку. При какой наименьшей толщине пленки прошедший через нее свет будет максимально ослаблен интерференцией ?
5. На тонкий стеклянный клин по нормали к его поверхности падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Определить преломляющий угол клина, если расстояние между смежными интерференционными минимумами в отраженном свете равно 4 мм.
6. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками вдоль линии их соприкосновения на расстоянии 75 мм от нее положили очень тонкую проволочку. Определить ее диаметр, если на расстоянии 30 мм наблюдается 16 интерференционных полос. Длина волны 0,5 мкм.
7. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками образовался воздушный клин с углом $30''$. На одну из пластин нормально падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Найти расстояние между интерференционными полосами.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки образуют клин с углом $30''$. Пространство между пластинками заполнено глицерином с показателем преломления, равным 1,47. На клин нормально к его поверхности падает пучок монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм. Какое число интерференционных полос приходится на 1 см длины клина в отраженном свете?
2. Поверхности стеклянного клина образуют между собой угол $\theta = 0,2'$. На клин нормально к его поверхности падает пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм. Определить ширину интерференционной полосы.
3. На экране наблюдается интерференционная картина от двух когерентных источников света с длиной волны 0,48 мкм. Когда на пути одного пучка поместили тонкую пластину плавленого кварца, интерференционная картина сместилась на 69 полос. Найти толщину кварцевой пластины.

ТЕМА 7. РАДИУС И СТЕПЕНЬ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ, ИХ ОЦЕНКИ ДЛЯ ПОЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛАЗЕРОВ.

Задание для обсуждения в аудитории.

Интерференцию света можно объяснить, рассматривая интерференцию волн. Необходимым условием интерференции волн является их **когерентность**, т. е. согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов. Этому условию удовлетворяют **монохроматические волны** — неограниченные в пространстве волны одной определенной и строго постоянной частоты. Так как ни один реальный источник не дает строго монохроматического света, то волны, излучаемые любыми независимыми источниками света, всегда некогерентны. Поэтому на опыте не наблюдается интерференция света от независимых источников, например от двух электрических лампочек.

Понять физическую причину немонохроматичности, а следовательно, и некогерентности волн, испускаемых двумя независимыми источниками света, можно исходя из самого механизма испускания света атомами. В двух самостоятельных источниках света атомы излучают независимо друг от друга. В каждом из таких атомов процесс излучения конечен и длится очень короткое время ($t \gg 10^{-8} \text{ с}$). За это время возбужденный атом возвращается в нормальное состояние и излучение им света прекращается. Возбудившись вновь, атом снова начинает испускать световые волны, но уже с новой начальной фазой. Так как разность фаз между излучением двух таких независимых атомов изменяется при каждом новом акте испускания, то волны, спонтанно излучаемые атомами любого источника света, некогерентны. Таким образом, волны, испускаемые атомами, лишь в течение интервала времени 10^{-8} с имеют приблизительно постоянные амплитуду и фазу колебаний, тогда как за больший промежуток времени и амплитуда, и фаза изменяются. Прерывистое излучение света атомами в виде отдельных коротких импульсов называется **волновым цугом**.

Описанная модель испускания света справедлива и для любого макроскопического источника, так как атомы светящегося тела излучают свет также *независимо* друг от друга. Это означает, что начальные фазы соответствующих им волновых цугов не связаны между собой. Помимо этого, даже для одного и того же атома начальные фазы разных цугов отличаются для двух последующих актов излучения. Следовательно, свет, испускаемый макроскопическим источником, некогерентен.

Любой немонохроматический свет можно представить в виде совокупности сменяющих друг друга независимых гармонических цугов. Средняя продолжительность одного цуга $t_{\text{ког}}$ называется **временем когерентности**. Когерентность существует только в пределах одного цуга, и время когерентности не может превышать время излучения, т. е. $t_{\text{ког}} < t$. Прибор обнаружит четкую интерференционную картину лишь тогда, когда время разрешения прибора значительно меньше времени когерентности накладываемых световых волн.

Если волна распространяется в однородной среде, то фаза колебаний в определенной точке пространства сохраняется только в течение времени когерентности $t_{\text{ког}}$. За это время волна распространяется в вакууме на расстояние $l_{\text{ког}} = ct_{\text{ког}}$, называемое **длиной когерентности** (или **длиной цуга**). Таким образом, длина когерентности есть расстояние, при прохождении которого две или несколько волн утрачивают когерентность. Отсюда следует, что наблюдение интерференции света возможно лишь при оптических разностях хода, меньших длины когерентности для используемого источника света.

Чем ближе волна к монохроматической, тем меньше ширина $\Delta \omega$ спектра ее частот и, как можно показать, больше ее время когерентности $t_{\text{ког}}$, а следовательно, и длина когерентности $l_{\text{ког}}$. Когерентность колебаний, которые совершаются в одной и той же точке пространства, определяемая степенью монохроматичности волн, называется **временной когерентностью**.

Наряду с временной когерентностью для описания когерентных свойств волн в плоскости, перпендикулярной направлению их распространения, вводится понятие **пространственной когерентности**. Два источника, размеры и взаимное расположение которых позволяют (при необходимой степени монохроматичности света) наблюдать интерференцию, называются **пространственно-когерентными**. **Радиусом когерентности** (или **длиной пространственной когерентности**) называется максимальное поперечное направление распространения волны расстояние, на котором возможно проявление интерференции. Таким образом, пространственная когерентность определяется радиусом когерентности. Радиус когерентности

$$r_{\text{ког}} \sim \lambda / \varphi$$

где λ — длина волны света, φ — угловой размер источника. Так, минимально возможный радиус когерентности для солнечных лучей (при угловом размере Солнца на Земле $\varphi \gg 10^{-2} \text{ рад}$ и $\lambda \gg 0,5 \text{ мкм}$)

составляет $\approx 0,05$ мм. При таком малом радиусе когерентности невозможно непосредственно наблюдать интерференцию солнечных лучей, поскольку разрешающая способность человеческого глаза на расстоянии наилучшего зрения составляет лишь 0,1 мм. Отметим, что первое наблюдение интерференции провел в 1802 г. Т. Юнг именно с солнечным светом, для чего он предварительно пропускал солнечные лучи через очень малое отверстие в непрозрачном экране (при этом на несколько порядков уменьшался угловой размер источника света и тем самым резко увеличивался радиус когерентности (или длина пространственной когерентности)).

Задания для самостоятельного выполнения.

1. Перечислите варианты оценки степени когерентности световых пучков.
2. Оцените радиус пространственной когерентности для лампы накаливания с матовой колбой, которая находится на потолке в комнате, если считать, что размеры источника света примерно равны $D \approx 50$ мм. Лампа создает частично когерентное световое поле на поверхности стола, расстояние от лампы до стола равно $z_0 = 3$ м. Средняя длина волны, которую излучает источник, равна 500 нм.

ТЕМА 8. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ТЕХНИКЕ: ИЗМЕРЕНИЕ МАЛЫХ СМЕЩЕНИЙ, РЕФРАКТОМЕТРИЯ.

Задачи для решения в аудитории.

1. В современных оптических приборах для уменьшения потерь света на отражение от поверхностей линз широко применяется метод «просветления оптики», разработанный акад. И.В. Гребенчиковым, А.А. Лебедевым и А.Н. Терениным. Какой показатель преломления должен иметь просветляющий слой поверхности оптических стекол, создающий при интерференции проходящих лучей максимум для света с длиной волны 430 нм наблюдается при толщине слоя 164 нм.
2. В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения интерференционной картины на 500 полос потребовалось переместить зеркало на 0,161 мм. Чему равна длина волны света?
3. В интерферометре Жамена помещены две одинаковые трубки с воздухом. При замене одной из них такой же трубкой с кислородом интерференционная картина сместилась на 4 полосы при $\lambda=500$ нм. Определить длину трубки, если $n_1=1,000292$ и $n_2=1,000272$.
4. В интерферометре Майкельсона используется желтая линия натрия, состоящая из двух компонент с длинами волн $\lambda_1=589$ нм и $\lambda_2=589,6$ нм. При поступательном перемещении одного из зеркал интерференционная картина периодически исчезает. Найти перемещение зеркала между двумя последовательными перемещениями интерференционной полосы.
5. Определить минимальную толщину масла на поверхности воды, если при наблюдении через спектроскоп под углом 60° к нормали в спектре отраженного света видна значительно усиленная желтая линия с длиной волны $\lambda=589$ нм.
6. При заполнении, находящейся на пути одного из интерферирующих лучей пустой трубки длиной 5 см кислородом происходит смещение интерференционных полос. Какую толщину должен иметь компенсирующий стеклянный клин с $n=1,5$ на пути второго луча, чтобы восстановилась первоначальная картина.
7. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки приложены одна к другой так, что между ними образовался воздушный клин с углом $30''$. На одну из пластинок падает монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. На каких расстояниях l_1 и l_2 от линии соприкосновения пластинок будут наблюдаться в отраженном свете первая и вторая светлые полосы.
8. При освещении эталона Фабри-Перо расходящимся монохроматическим светом с длиной волны λ в фокальной плоскости линзы возникает интерференционная картина – система концентрических колец. Толщина эталона равна d . Определить как зависит от порядка интерференции расположение колец и угловая ширина полос интерференции.

Задачи для самостоятельного решения.

1. При освещении клиновидной пластинки пучком параллельных лучей натриевого пламени ($\lambda=589$ нм), падающих нормально к поверхности, образуются интерференционные полосы такой ширины, что на протяжении 13 мм укладывается 46 темных полос. Если освещать при тех же условиях пластинку вторым источником света, то на той же длине разместится 55 темных полос. Какова длина волны света второго источника?
2. В интерферометре Жамена на пути интерферирующих лучей ($\lambda=0,73$ мкм) две одинаковые трубки, закрытые прозрачными пластинками. Одна заполнена воздухом при нормальных условиях, а из другой он выкачан. Чему равен показатель преломления воздуха, если длина трубок 5 м и при выкачивании воздуха интерференционная картина сместилась на 20 полос.
3. Определить перемещение зеркала в интерферометре Майкельсона, если интерференционная картина сместилась на 100 полос. Опыт проводился со светом с длиной волны 546 нм.
4. Найти для эталона Фабри-Перо, толщина которого $d=2,5$ см максимальный порядок интерференции для света с длиной волны 0,5 мкм и дисперсионную область $\Delta\lambda$, для которой нет перекрытия с другими порядками интерференции.

ТЕМА 9. ЯВЛЕНИЕ ДИФРАКЦИИ.

Задачи для решения в аудитории.

1. Вычислить радиус пятой зоны Френеля для плоского волнового фронта с длиной волны 0,5 мкм, если построение делается для точки, находящейся на расстоянии 1 м от фронта волны.
2. Радиус четвертой зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 3 мм. Определить радиус шестой зоны Френеля.
3. На диафрагму с круглым отверстием диаметром 4 мм падает нормально параллельный пучок лучей монохроматического света с длиной волны 0,5 мкм. Точка наблюдения находится на расстоянии 1 м. Сколько зон Френеля укладывается в отверстие?
4. Плоская световая волна длиной 0,5 мкм падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром 1 см. На каком расстоянии от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы отверстие открывало две зоны Френеля?
5. Плоская световая волна длиной 0,7 мкм падает нормально на диафрагму с круглым отверстием радиусом 1,4 мм. Определить расстояния от диафрагмы до трех наиболее удаленных от нее точек, в которых наблюдается минимум интенсивности.
6. Точечный источник света с длиной волны 0,5 мкм расположен в 1 м перед диафрагмой с круглым отверстием радиуса 1 мм. Найти расстояние от диафрагмы до точки наблюдения, для которой число зон Френеля в отверстии составляет 3.
7. Свет с длиной волны 0,6 мкм падает нормально на поверхность стеклянного диска, который перекрывает полторы зоны Френеля для некоторой точки. При какой наименьшей толщине стекла интенсивность света в выбранной точке будет максимальной?
8. На пути плоской световой волны с длиной 0,54 мкм поставлена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием 50 см, непосредственно за ней – диафрагма, и на расстоянии 75 см от диафрагмы – экран. При каком максимальном радиусе отверстия центр дифракционной картины на экране максимально освещен?

Задачи для самостоятельного решения.

1. Точечный источник монохроматического света расположен перед зонной пластинкой на расстоянии 1,5 м от нее. Изображение источника образуется на расстоянии 1 м от пластинки. Найти фокусное расстояние зонной пластинки.
2. На щель шириной 0,021 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,63 мкм. Сколько дифракционных минимумов можно наблюдать на экране за этой щелью?
3. На щель шириной 0,05 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Найти угол отклонения света на четвертую темную дифракционную полосу.
4. Сколько штрихов на миллиметр содержит дифракционная решетка, если при нормальном падении на нее монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм максимум пятого порядка наблюдается под углом 18° ?

ТЕМА 10. ПРИМЕНЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДИФРАКЦИОННЫХ КАРТИН.

Задания для обсуждения в аудитории.

Рассмотрение вопроса о действии световой волны в точке Р удобно проводить, пользуясь графическим методом сложения колебаний, обладающих некоторой разностью фаз. Известно, что любое колебание можно представить вектором, модуль которого равен амплитуде колебания, а угол, который вектор составляет с заранее выбранным направлением, равен фазе колебания. При сложении нескольких колебаний, изображаемых с помощью векторов, суммарное колебание определяется по правилу сложения векторов.

Совершенно очевидно, что для каждой зоны Френеля фаза будет плавно меняться от границы начала зоны до её конца. Однако с каждой зоной можно поступить как со всей поверхностью фронта. Разобьем каждую зону Френеля на кольцевые подзоны, аналогичные зонам Френеля, но гораздо меньшие по ширине, чтобы фаза колебаний, вызываемых в точке различными источниками вторичных волн такой подзоны, практически могла считаться постоянной. Тогда действие каждой подзоны можно представить вектором, длина которого дает суммарную амплитуду, а направление определяет фазу колебания, обусловленного этой подзоной. Действие соседней подзоны можно выразить вторым вектором, несколько повернутым относительно первого, так как фаза, определяемая совокупностью источников этой подзоны, будет немного отличаться от фазы, задаваемой первой подзоной. По длине же этот вектор практически не будет отличаться от первого, так как амплитуда колебания, вызываемого различными участками фронта волны, отличается только вследствие изменения наклона нормали к фронту волны к линии, проведенной в точку Р, а для двух соседних зон это изменение ничтожно мало.

Таким образом, векторная диаграмма, определяющая действие подзон, составляющих первую зону Френеля, изобразится ломаной линией (рис. 1). Если площадь подзон уменьшать, то ломаная линия превратится в дугу, которая очень мало будет отличаться от полуокружности (рис. 2). При этом вектор, касательный к дуге в точке M_1 , будет иметь направление, прямо противоположное направлению соответствующего вектора вблизи точки О, так как фаза колебания в точке Р, обусловленного действием последней подзоны, очевидно, противоположна фазе колебаний, излучаемых первой подзоной. Таким образом, результирующее колебание, обусловленное действием одной центральной зоны, представится вектором длиной OM_1 .

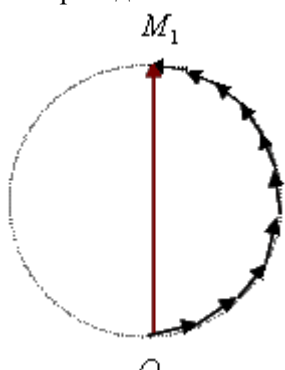


Рис.1

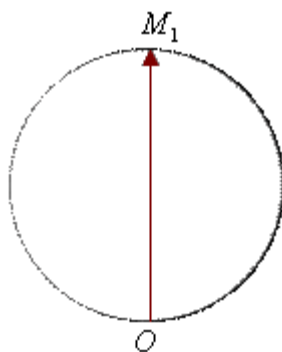


Рис.2

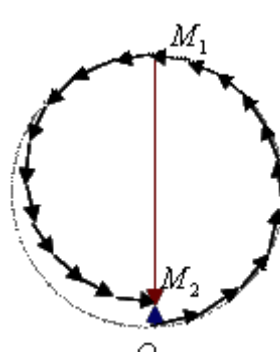


Рис.3

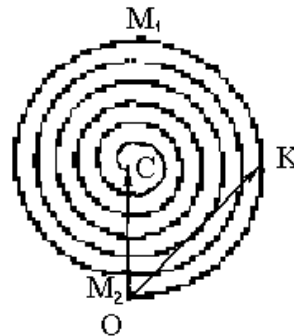


Рис.4

Для того чтобы учесть действие второй зоны Френеля, надо продолжить векторную диаграмму. Тогда мы получим картину, представленную на рис. 3. Причем дуга короче дуги вследствие возрастающего наклона зоны. Результирующий вектор от второй зоны Френеля направлен противоположно вектору первой зоны, но немного меньше его по модулю, поэтому их сумма не будет точным нулем, а даст небольшой суммарный вектор в нижней части рис. 3.

Продолжая построение, получим диаграмму действий всей волны в виде спирали, закручивающейся к точке С (рис. 4). Результирующее колебание, характеризующее действие всего волнового фронта, выражается вектором длиной ОС. Из рис. 4 легко видеть, что этот вектор равен примерно половине длины вектора, представляющего действие первой зоны Френеля, и совпадает с ним по направлению. Другими словами, колебание в точке, обусловленное действием всего волнового фронта, совпадает по фазе с колебанием, которое могла бы создать центральная зона, а его амплитуда составляет примерно половину амплитуды этого колебания.

Приведенные рассуждения показывают, что действие (то есть амплитуда), вызванное всем волновым фронтом, примерно равно половине действия центральной зоны, а не действию половины центральной зоны. Действие половины центральной зоны выражается вектором, отличающимся от вектора (рис. 4).

Задачи для самостоятельного решения.

1. Радиус круглого отверстия, на которое падает световая волна, равен половине первой зоны Френеля, радиусу первой зоны Френеля, радиусу второй зоны Френеля. Чему равны результирующие интенсивности падающей волны, которая прошла через отверстие для трех означенных случаев?
2. Объясните, используя метод векторных диаграмм, что происходит при суммировании амплитуд колебаний для зон Френеля.

ТЕМА 11. ДИФРАКЦИЯ НА КРУГЛОМ ОТВЕРСТИИ И КРУГЛОМ ЭКРАНЕ.

Задачи для решения в аудитории.

1. На шпильке высотного здания укреплены одна под другой две красные лампы ($\lambda=640$ нм). Расстояние между лампами 20 см. Здание рассматривают ночью в телескоп с расстояния 15 км. Определить наименьший диаметр объектива, при котором в его фокальной плоскости получаются раздельные дифракционные изображения.
2. Лазерный пучок света диаметром 0,01 м, расходимость которого определяется только дифракцией, направлен на Луну. Длина волны лазерного излучения 0,633 нм. Чему равен диаметр освещаемой поверхности на Луне.
3. Определите ширину спектральной линии водорода ($\lambda=0,656$ нм) в спектре первого порядка, даваемого решеткой длиной 3 см. Фокусное расстояние линзы, проецирующей спектр на экран, равно 15 см. (Шириной спектральной линии называется половина расстояния между двумя минимумами, лежащими рядом с этой линией).
4. Постоянная дифракционной решетки 2,5 мкм. Найти угловую дисперсию решетки для длины волны 589 нм в спектре первого порядка.
5. Свет с длиной волны λ падает нормально на дифракционную решетку. Найти её угловую дисперсию в зависимости от угла дифракции θ .
6. Прозрачная дифракционная решетка имеет период 1,5 мкм. Найти угловую дисперсию, соответствующую максимуму наибольшего порядка спектральной линии с $\lambda=530$ нм, если свет падает на решетку нормально.
7. Свет с длиной волны 589 нм падает нормально на дифракционную решетку с периодом 2,5 мкм, содержащую 10000 штрихов. Найти угловую ширину дифракционного максимума второго порядка.
8. Показать, что при нормальном падении света на дифракционную решетку максимальная величина её разрешающей способности не может превышать значения l/λ , где l – ширина решетки, λ – длина волны света.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Определить угловую дисперсию дифракционной решетки для угла дифракции 30° и длины волны 600 нм.
2. Нормально к поверхности дифракционной решетки падает пучок света. За решеткой помещена собирающая линза с оптической силой 1 дптр. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Определить число штрихов на 1 мм этой решетки, если при малых углах дифракции линейная дисперсия 1 мм/нм.
3. На дифракционную решетку нормально к её поверхности падает монохроматический свет ($\lambda=650$ нм). За решеткой находится линза, в фокальной плоскости которой расположен экран. На экране наблюдается дифракционная картина под углом дифракции 30° . При каком главном фокусном расстоянии линзы линейная дисперсия 0,5 мм/нм.
4. Диаметр объектива телескопа равен 8 см. Каково наименьшее угловое расстояние между двумя звездами, дифракционные изображения которых в фокальной плоскости объектива получаются раздельными. При малой освещенности глаз человека наиболее чувствителен к свету с длиной волны 0,5 мкм.

ТЕМА 12. ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ОТВЕРСТИИ И ЩЕЛИ.

Задачи для решения в аудитории.

5. Дифракционная решетка содержит 1000 щелей. Какова её ширина, если под углом 90° наблюдается 5000-й добавочный минимум дифракционной картины для желтой линии натрия с длиной волны $\lambda=590$ нм.
6. Период дифракционной решетки $6 \cdot 10^{-6}$ м. Для спектральной линии водорода с длиной волны 486 нм подобрать такое наибольшее $\Delta\lambda$, чтобы нигде не было перекрытия спектров при освещении светом в интервале $\lambda \pm \Delta\lambda$.
7. Период дифракционной решетки $5 \cdot 10^{-4}$ см. Какой элемент дифракционной картины будет наблюдаться под углом 30° , если решетку освещать монохроматическим светом с длиной волны 600 нм, а ширина решетки 0,25 см.
8. Две дифракционные решетки имеют одинаковую ширину 3 мм, но разные периоды 0,003 мм и 0,006 мм. Определить их наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия с $\lambda=589,6$ нм.
9. Под углом 30° наблюдается 4-й максимум для красной линии кадмия ($\lambda=644$ нм). Определить период дифракционной решетки и её ширину, если наименьшее разрешаемое решеткой отклонение составляет $\delta\lambda=0,322$ нм.
10. Определить: 1) дисперсию и разрешающую способность дифракционной решетки длиной 6 мм с периодом $3 \cdot 10^{-4}$ см в спектре третьего порядка для красной линии водорода с длиной волны 656,3 нм; 2) угол, соответствующий $\Delta\lambda=10$ нм; 3) $\delta\lambda$, соответствующее разрешающей способности.
11. На дифракционную решетку с периодом $5 \cdot 10^{-3}$ мм под углом 30° падает свет с длиной волны 600 нм. Определить углы под которыми наблюдаются максимумы 2-го порядка.
12. Дифракционная картина получена с помощью дифракционной решетки длиной 1,5 см и периодом 5 мкм. Определить в спектре какого наименьшего порядка этой картины получатся отдельные изображения двух спектральных линий с разностью длин волн 0,1 нм, если линии лежат в крайней красной части спектра (760 нм)

Задачи для самостоятельного решения.

1. Какой наименьшей разрешающей силой должна обладать дифракционная решетка, чтобы с её помощью можно было разрешить две спектральные линии калия 578 и 580 нм. Какое наименьшее число штрихов должна иметь эта решетка, чтобы разрешение было возможно в спектре второго порядка.
2. С помощью дифракционной решетки с периодом 20 мкм требуется разрешить дублет натрия (589 нм и 589,6 нм) в спектре второго порядка. При какой наименьшей длине решетки это возможно.
3. Угловая дисперсия дифракционной решетки для излучения некоторой длины волны при малых углах дифракции составляет 5 мин/нм. Определить разрешающую силу этой решетки для излучения той же длины волны, если длина решетки равна 2 см.
4. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны 700 нм. За решеткой помещена собирающая линза с главным фокусным расстоянием 50 см. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Определить линейную дисперсию такой системы для максимума третьего порядка.

ТЕМА 13. ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ.

Задачи для решения в аудитории.

1. Узкий параллельный пучок рентгеновского излучения, имеющего одну длину волны, падает на грань кристалла. Расстояние между атомными слоями равно d . Какова длина волны излучения, если под углом θ к плоскости грани наблюдают дифракционный максимум первого порядка?
2. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения ($\lambda=147$ пм). Определить расстояние между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда излучение падает под углом $31^\circ 30'$ к поверхности кристалла.
3. Какова длина волны монохроматического рентгеновского излучения, падающего на кристалл кальцита, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается, когда угол θ между направлением падающего излучения и гранью кристалла равен 3° ? Расстояние между атомными плоскостями кристалла принять равным $0,3$ нм.
4. Узкий пучок рентгеновских лучей падает под углом скольжения 60° на естественную грань монокристалла NaCl, плотность которого $2,16$ г/см³. При зеркальном отражении от этой грани образуется максимум второго порядка. Определить длину волны излучения.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Узкий пучок рентгеновского излучения, имеющий длину волны λ , падает под некоторым углом на естественную грань кристалла NaCl, его молярная масса равна μ , плотность ρ . Каков угол скольжения, если при зеркальном отражении от данной грани наблюдают максимум второго порядка?
2. Какова длина волны монохроматического рентгеновского излучения, падающего на кристалл, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается, когда угол θ между направлением падающего излучения и гранью кристалла равен 4° ? Расстояние между атомными плоскостями кристалла принять равным $0,35$ нм.
3. Параллельный пучок рентгеновского излучения падает на грань кристалла. Под углом $\theta=65^\circ$ к плоскости грани наблюдается максимум первого порядка. Расстояние между атомными плоскостями кристалла 280 пм. Определить длину волны рентгеновского излучения.

ТЕМА 14. ДИСПЕРСИЯ СВЕТА.

Задачи для решения в аудитории.

1. Найти концентрацию свободных электронов ионосферы, если для радиоволн с частотой 100 МГц ее показатель преломления 0,9.
2. Имея в виду, что для достаточно жестких рентгеновских лучей электроны вещества можно считать свободными, определить, на сколько отличается от единицы показатель преломления графита для рентгеновских лучей с длиной волны в вакууме $\lambda=50\text{нм}$.
3. Электрон, на который действует квазиупругая сила kx и «сила трения» $\gamma\dot{x}$, находится в поле электромагнитного излучения. Е-составляющая поля — меняется во времени по закону $E=E_0\cos\omega t$. Пренебрегая действием магнитной составляющей поля, найти: а) уравнение движения электрона; б) среднюю мощность, поглощаемую электроном; частоту, при которой она будет максимальна, и выражение для максимальной средней мощности.
4. В ряде случаев диэлектрическая проницаемость вещества оказывается величиной комплексной или отрицательной и показатель преломления — соответственно комплексным ($n'=n+i\xi$, $n'=n+i\xi$) или чисто мнимым ($n'=i\xi$, $n'=i\xi$). Написать для этих случаев уравнение плоской волны и выяснить физический смысл таких показателей преломления.

Задачи для самостоятельного решения.

1. При зондировании разреженной плазмы радиоволнами различных частот обнаружили, что радиоволны с $\lambda>\lambda_0=0,75\text{ м}$ испытывают полное внутреннее отражение. Найти концентрацию свободных электронов в этой плазме.
2. Найти зависимость между групповой u и фазовой v скоростями для следующих законов дисперсии: а) $v\sim 1/\sqrt{\lambda}$; б) $v\sim k$; в) $v\sim 1/\omega^2$. Здесь λ, k и ω — длина волны, волновое число и круговая частота.
3. Показатель преломления сероуглерода для света с длинами волн 509, 534 и 589 нм равен соответственно 1,647, 1,640 и 1,630. Вычислить фазовую и групповую скорости света вблизи $\lambda=534\text{нм}$.

ТЕМА 15. ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА.

Задания для обсуждения в аудитории.

Поглощение света - уменьшение интенсивности света при прохождении через вещество вследствие его взаимодействия с атомами и молекулами вещества. Электромагнитное поле световой волны возбуждает дополнительные колебания электронов и ионов вещества, на что расходуется энергия. Частично она возвращается в виде вторичного электромагнитного излучения. В терминах квантовой теории процесс поглощения света связан с переходом электронов в атомах и молекулах, поглощающих излучение, с низких уровней энергии на более высокие. Обратный переход в основное или нижнее возбуждённое состояние может совершаться с излучением фотона или безызлучательно, или комбинированным путём, причём способ обратного перехода определяет, в какой вид энергии переходит энергия поглощённого света.

Обычно интенсивность света I уменьшается с увеличением проходимого в веществе расстояния l по экспоненциальному закону: $I = I_0 e^{-\alpha l}$, где I_0 – начальная интенсивность света, α – показатель поглощения, зависящий от прозрачности среды. Этот закон экспериментально установлен П. Бугером в 1729 и теоретически выведен И. Ламбертом в 1760.

Зависимость показателя поглощения α от длины волны света λ называется спектром поглощения вещества. Спектр поглощения изолированных атомов (напр., атомов разреженных газов) состоит из узких спектральных линий, т. е. показатель поглощения α отличен от нуля только в определённых узких диапазонах длин волн (шириной 0,1–1 нм), соответствующих частотам собств. колебаний электронов внутри атомов. Молекулярный спектр поглощения, определяемый колебаниями атомов в молекулах, состоит из полос поглощения (шириной 10 нм – 10 мкм). Поглощение твёрдых тел характеризуется, как правило, очень широким диапазоном длин волн (10–100 мкм) с большим значением α . Качественно это объясняется тем, что в конденсированных средах сильное взаимодействие между частицами приводит к быстрой передаче энергии, отданной светом одной из них, всему коллективу частиц. Все эти частицы излучают на несколько различающихся частотах, в результате чего спектр становится широким.

В проводящих средах (металлах, плазме) взаимодействие со светом в значит. степени определяется свободными электронами, поэтому α зависит от электропроводности среды. П. с. в проводящих средах сильно влияет на все процессы распространения света в них; формально это учитывается тем, что член, содержащий α , входит в выражение для комплексного показателя преломления среды. Падающая световая волна поглощается практически полностью в тонком (около 10 нм) слое; её энергия превращается в энергию движения электронной плазмы. Движущиеся электроны излучают, в результате чего формируется отражённая волна, уносящая до 99% энергии. Тем не менее можно сделать такой тонкий слой золотой фольги, что он будет частично пропускать свет. Можно также напылить тонкий слой серебра на стекло или др. прозрачную подложку, и это будет частично пропускающим (около 30%) и частично отражающим (около 30%) покрытием, используемым в качестве светоделителя. Остальные $\approx 40\%$ света поглощаются.

Когда свет поглощается молекулами вещества, растворённого в практически не поглощающем растворителе, или молекулами газа, показатель α оказывается пропорциональным числу поглощающих молекул на единице длины пути световой волны, или, что то же, в единице объёма, заполненного проходящим светом, т. е. пропорционален концентрации C растворённого вещества (установлено нем. учёным А. Бером, 1852). В реальных газах и растворах это выполняется не всегда.

Спектры поглощения могут быть настолько индивидуальными, что по ним можно эффективно контролировать химический состав растворов.

При высоких интенсивностях света начинают проявляться нелинейные эффекты, α становится функцией интенсивности света и закон Бугера нарушается (нелинейное поглощение). Такие эффекты могут происходить и при одновременном поглощении нескольких фотонов. Интенсивность флуктуирующего потока фотонов при этом стабилизируется; изъятие фотонов из исходного пучка может происходить парами (двухфотонное поглощение), тройками и т. д. Прореживание пучка происходит в местах наибольшей концентрации фотонов, т.е. во флуктуационных всплесках интенсивности. В результате всплески сглаживаются и поток фотонов становится более регулярным. В таких нелинейных процессах эффективность подавления фотонных флуктуаций невысока, тем не менее они позволяют снизить фотонные шумы даже ниже уровня шума идеального лазера, что особенно важно в сверхточных оптических измерениях.

Если в поглощающей среде искусственно создана инверсия населённостей, то каждый фотон из падающего потока имеет большую вероятность индуцировать испускание точно такого же фотона, чем быть поглощённым самому. В этом случае интенсивность выходящего света превосходит интенсивность падающего, т. е. имеет место усиление света, а показатель поглощения α становится отрицательным, поэтому такое явление называется отрицательным поглощением света. На нём основано действие квантовых генераторов (лазеров) и квантовых усилителей.

Нелинейные эффекты поглощения могут проявляться не только при больших интенсивностях излучения. Например, для самопроизвольного потемнения солнцезащитных очков с меняющейся прозрачностью достаточно яркого солнечного света.

Поглощение света используется в различных областях науки и техники. На нём основаны особо высокочувствительные методы количественного и качественного химического анализа (в частности, абсорбционный спектральный анализ), спектрофотометрия, колориметрия и др. Вид спектра поглощения удаётся связать с химической структурой вещества; по виду спектра можно также исследовать характер движения электронов в металлах, выяснить зонную структуру полупроводников и др.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Имеется прозрачная пластина толщины $x=10$ см. Для некоторой длины волны λ коэффициент поглощения пластины изменяется линейно от значения $k_1 = 0,8 \text{ м}^{-1}$ у одной поверхности пластины до $k_2 = 1,2 \text{ м}^{-1}$ у другой поверхности. Определить ослабление (%) интенсивности монохроматического света данной длины волны при прохождении толщины пластины.

2. В лаборатории имеются изготовленные из некоторого сорта стекла пластинки толщины $x_1 = 2,16$ мм и $x_2 = 36,82$ мм. Предложите такой способ определения коэффициента поглощения k данного сорта стекла для некоторой λ , при котором не требуется знать коэффициент отражения света пластинками. Получите соответствующую расчётную формулу.

3. Пусть первая из описанных в предыдущей задачи пластина пропускает 92,5 % упавшего на неё света, а вторая 88,2 %. Найти коэффициент поглощения света стеклом для данной длины волны.

ТЕМА 16. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА.

Задачи для решения в аудитории.

1. Луч света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом 54° . Определить угол преломления пучка, если отраженный пучок полностью поляризован.
2. Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения отраженный свет полностью поляризован?
3. Предельный угол полного внутреннего отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен 43° . Определить угол Брюстера для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.
4. Параллельный пучок естественного света рассеивается стеклянным конусом, ось которого направлена вдоль пучка. Найти угол рассеяния света, если отраженный свет полностью поляризован.
5. Анализатор в два раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора.
6. Угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?
7. Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два поляризатора, плоскости пропускания которых образуют 30° , если в каждом из них теряется по 10% интенсивности падающего на него света?
8. Имеются два одинаковых несовершенных поляризатора, каждый из которых обуславливает степень поляризации 0,8. Какую максимальную степень поляризации могут обеспечить два эти поляризатора, установленные последовательно друг за другом?

Задачи для самостоятельного решения.

1. В частично поляризованном свете амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 2 раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности. Определить степень поляризации света.
2. Степень поляризации частично поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз максимальная интенсивность света, проходящего через анализатор, больше минимальной?
3. На пути частично поляризованного света со степенью поляризации 0,6 поставили анализатор таким образом, чтобы он пропускал максимальную интенсивность света. Во сколько раз уменьшится интенсивность прошедшего через анализатор света, если его плоскость пропускания повернуть на 30° ?
4. На поляризатор падает пучок частично поляризованного света таким образом, что его пропускание минимально. После поворота плоскости поляризатора на 45° интенсивность прошедшего света возросла в 1,5 раза. Найти степень поляризации света.

ТЕМА 17. ДВОЙНОЕ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ.

Задачи для решения в аудитории.

1. На пути частично-поляризованного света, степень поляризации P которого равна $3/5$, поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол $\alpha=30^\circ$?
2. Естественный свет падает под углом Брюстера на поверхность стекла. Определить с помощью формул Френеля коэффициент отражения.
3. Пучок естественного света падает под углом Брюстера на поверхность воды. Коэффициент отражения равен 0,039. Найти коэффициент пропускания.
4. На поверхность воды под углом Брюстера падает пучок поляризованного света. Плоскость колебания светового вектора составляет 45° с плоскостью падения. Найти коэффициент отражения.
5. Определить с помощью формул Френеля коэффициент отражения естественного света при нормальном падении на поверхность стекла.
6. На поверхность стекла падает пучок естественного света. Угол падения равен 45° . Найти с помощью формул Френеля степень поляризации отраженного света.
7. На поверхность стекла падает пучок естественного света. Угол падения равен 45° . Найти с помощью формул Френеля степень поляризации преломленного света.
8. Естественный свет с $\lambda=656$ нм падает на систему из двух скрещенных поляризаторов, между которыми находится кварцевая пластинка, вырезанная перпендикулярно оптической оси. При какой минимальной толщине пластинки система будет пропускать $\eta=0,30$ светового потока?
9. Свет проходит через систему из двух скрещенных поляризаторов, между которыми расположена кварцевая пластинка, вырезанная перпендикулярно оптической оси. При какой минимальной толщине пластинки свет с $\lambda_1=436$ нм будет полностью задерживаться системой, а с $\lambda_2=497$ нм пропускаться наполовину?

Задачи для самостоятельного решения.

1. Пластина кристаллического кварца толщиной 2 мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси, поворачивает плоскость поляризации света на 53° . Какой минимальной толщины пластину нужно поместить между поляризаторами с параллельными плоскостями пропускания, чтобы они полностью задерживали свет?
2. Во сколько раз ослабляется интенсивность естественного света проходящего через два поляризатора, плоскости пропускания которых образуют угол 60° , если в каждом из них теряется не менее 15% падающего света?
3. На пути частично поляризованного света со степенью поляризации равной 0,5 поставлен анализатор. Найти максимальный и минимальный коэффициент пропускания этого анализатора.
4. Между двумя скрещенными поляризаторами поставили третий под углом α . При каком угле α коэффициент пропускания такой системы максимален и при каком – минимален?

ТЕМА 18. РАССЕЯНИЕ СВЕТА.

Задания для самостоятельного обсуждения.

Рэлеевское рассеяние – рассеяние света без изменения длины волны (называемое также *упругим рассеянием*) на частицах, неоднородностях или других объектах, когда частота рассеиваемого света существенно меньше собственной частоты рассеивающего объекта или системы. Эквивалентная формулировка – рассеяние света на объектах, размеры которых меньше его длины волны.

При наблюдении рассеянного света под прямым углом (90°) к первичному пучку через *поляризатор* N обнаруживается, что *рассеянный свет линейно поляризован*, хотя первоначальный свет, идущий от S, *естественный*. Направление электрического вектора в рассеянном свете перпендикулярно к плоскости, проходящей через направление первичного пучка и направление наблюдения.

Если оценить интенсивность света, рассеянного по разным направлениям, то она окажется симметричной относительно оси первичного пучка и относительно линии, к ней перпендикулярной (рис.1). Кривая, графически показывающая распределение интенсивности рассеянного света по разным направлениям, носит название *индикатрисы рассеяния*. При естественном падающем свете индикатриса рассеяния имеет вид, показанный на рис.1, и выражается формулой

$$I \sim I + \cos^2 \theta.$$

Джон Рэлей в 1899 г. произвел расчет *интенсивности* света, рассеянного на сферических частицах, размеры которых малы по сравнению с длиной волны падающего света, и нашел, что для первоначального естественного света интенсивность рассеянного света равна

$$I = I_0 \frac{9\pi^2 \varepsilon_0^2 N(V')^2}{2\lambda^4 L^2} \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta), \quad (1)$$

здесь N - число частиц в рассеивающем объеме, V' и ε - объем и диэлектрическая проницаемость частицы, ε_0 - диэлектрическая проницаемость среды, в которой взвешены частицы, θ - угол рассеяния, I_0 - интенсивность падающего света, L - расстояние от рассеивающего объема до точки наблюдения.

Формула Рэлея описывает следующие экспериментально открытые до ее вывода закономерности. Интенсивность рассеянного света оказывается обратно пропорциональной четвертой степени длины волны, что находится в соответствии с измерениями и может объяснить голубой цвет неба. Закон $I \sim 1/\lambda^4$ носит название *закона Рэлея*.

Из формулы (1) следует также, что интенсивность рассеянного света пропорциональна квадрату объема рассеивающей частицы или шестой степени радиуса сферической частицы.

Формула Рэлея содержит множитель $(\varepsilon - \varepsilon_o)^2/(\varepsilon + \varepsilon_o)^2$, который может служить мерой оптической неоднородности. Если $\varepsilon = \varepsilon_o$, то оптическая неоднородность исчезает и вместе с ней исчезает и рассеянный свет ($I = 0$). Такая мера оптической неоднородности относится не обязательно к малым частицам, но может служить для характеристики оптической неоднородности и в других случаях.

Обсужденные закономерности рассеяния света перестают быть справедливыми, если размеры рассеивающих частиц становятся сравнимыми с длиной волны, что нередко наблюдается в *коллоидных растворах*.

Индикатриса рассеяния частицами, малыми по сравнению с λ

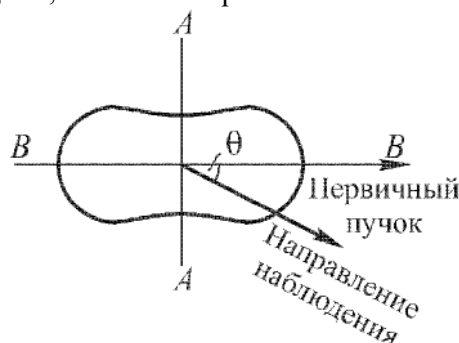


Рис.1

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОПТИКА

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Медицинская физика»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	30
ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	31
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ	33
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ	36

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа студента предполагает, прежде всего, его научно-исследовательскую и практическую деятельность, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят к самостоятельному выполнению профессиональных задач. Конечной целью самостоятельной работы является организация самостоятельной познавательной деятельности, формирование умения самостоятельно анализировать информацию, выделять главное и второстепенное.

Основными формами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Оптика» являются:

- подготовка к практическому занятию;
- самостоятельное изучение литературы;
- подготовка к экзамену.

ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
Подготовка к практическому занятию «Основы электромагнитной теории света»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 1
Подготовка к практическому занятию «Основные понятия геометрической оптики»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 2
Подготовка к практическому занятию «Построения в оптических системах»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 3
Подготовка к практическому занятию «Интерференция света»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 4
Подготовка к практическому занятию «Основные интерференционные схемы»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 5
Подготовка к практическому занятию «Временная когерентность, длина и время когерентности; спектральное и временное рассмотрение»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 6
Подготовка к практическому занятию «Радиус и степень пространственной когерентности, их оценки для полей тепловых источников и лазеров»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 7
Подготовка к практическому занятию «Применение интерферометров в научных исследованиях и технике: измерение малых смещений, рефрактометрия»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 8
Подготовка к практическому занятию «Явление дифракции»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 9
Подготовка к практическому занятию «Применение векторных диаграмм для качественного анализа дифракционных картин»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 10
Подготовка к практическому занятию «Дифракция на круглом отверстии и круглом экране»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 11
Подготовка к практическому занятию «Дифракция Фраунгофера на прямоугольном отверстии и щели»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 12

Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Время сдачи
Подготовка к практическому занятию «Дифракция рентгеновских лучей»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 13
Подготовка к практическому занятию «Дисперсия света»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 14
Подготовка к практическому занятию «Поглощение света»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 15
Подготовка к практическому занятию «Поляризация света»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 16
Подготовка к практическому занятию «Двойное лучепреломление»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 17
Подготовка к практическому занятию «Рассеяние света»	Отчет	Собеседование	Практическое занятие № 18
Самостоятельное изучение литературы	Конспект	Собеседование	15 неделя
Подготовка к экзамену	Экзамен	Вопросы к экзамену	

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

При подготовке к практическим занятиям необходимо:

- повторить материал соответствующих лекций;
- внимательно изучить описание лабораторного занятия, изложенное в практикуме;
- ответить на вопросы по содержанию лабораторного занятия, задаваемые преподавателем на предварительном опросе перед выполнением заданий.

Все лабораторные занятия предполагают выполнение заданий, решение задач.

В результате выполнения заданий достигаются следующие результаты обучения:

- развитие мышления и творческих способностей студента,
- приобретение и закрепление навыков самостоятельной работы,
- приобретение и закрепление навыков оформления и составления письменных заданий.

Примерные вопросы по содержанию практических занятий.

Практическое занятие №1 «Основы электромагнитной теории света»

1. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение.
2. Бегущие электромагнитные волны. Скорость света в однородных изотропных диэлектриках.
3. Плотность энергии и импульса электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойнтинга. Интенсивность света.
4. Давление света. Опыты Лебедева

Практическое занятие №2 «Основные понятия геометрической оптики»

1. Закон отражения света.
2. В чем заключается явление преломления света?
3. Закон преломления света.
4. В чем заключается явление полного внутреннего отражения света? При каком условии оно наблюдается?

Практическое занятие №3 «Построения в оптических системах»

1. Что называют линзой? Какие виды линз существуют?
2. Что называют фокусом линзы, фокусным расстоянием?
3. Что называют главной оптической осью линзы?
4. Оптическая сила линзы.
5. Изображения, даваемые линзой (построение+описание)
6. Плоские, выпуклые, вогнутые зеркала. Изображения даваемые ими.

Практическое занятие №4 «Интерференция света»

1. Интерференция монохроматического света.
2. Интерференция квазимонохроматического света.
3. Что такое функция видности?

Практическое занятие №5 «Основные интерференционные схемы»

1. Получение интерференционных картин делением волнового фронта (метод Юнга).
2. Получение интерференционных картин методом деления амплитуды (метод Френеля).
3. Полосы равной толщины и равного наклона.
4. Основные интерференционные схемы. Интерферометр Майкельсона.

Практическое занятие №6 «Временная когерентность, длина и время когерентности; спектральное и временное рассмотрение»

1. Что такое временная когерентность, длина и время когерентности?
2. Спектральное и временное рассмотрение.
3. Какова взаимосвязь спектра и корреляционной функции?
4. Что такое Фурье-спектрометрия и ее возможности?
5. Пространственная когерентность. Интерферометр Юнга.
6. Звездный интерферометр Майкельсона. Его возможности и применение.

Практическое занятие №7 «Радиус и степень пространственной когерентности, их оценки для полей тепловых источников и лазеров»

1. Что называют радиусом пространственной когерентности?
2. Что такое степень пространственной когерентности?
3. Как оценить радиус и степень пространственной когерентности для полей тепловых источников и лазеров?

Практическое занятие №8 «Применение интерферометров в научных исследованиях и технике: измерение малых смещений, рефрактометрия»

1. Что такое интерферометр?
2. Виды интерферометров. Их принципиальные схемы.
3. Какие возможности существуют для научных исследований в применении интерферометров?
4. Что такое интерферометрия?

Практическое занятие №9 «Явление дифракции»

1. Сформулируйте и объясните принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Что такое дифракционный интеграл и какова его трактовка?
3. Что такое зоны Френеля? Как они строятся?

Практическое занятие №10 «Применение векторных диаграмм для качественного анализа дифракционных картин»

1. Что такое векторные диаграммы?
2. Как строится спираль Френеля?
3. Как строится спираль Корню?
4. Применение векторных диаграмм для качественного анализа дифракционных картин.

Практическое занятие №11 «Дифракция на круглом отверстии и круглом экране»

1. Дифракция на круглом отверстии и круглом экране. В чем заключается принцип Бабиня?
2. Ближняя и дальняя зоны дифракции. Что такое дифракционная длина?
3. В чем заключается приближение Френеля и приближение Фраунгофера?

Практическое занятие №12 «Дифракция Фраунгофера на прямоугольном отверстии и щели»

1. Дифракция на краю полубесконечного экрана.
2. Приближение Френеля и приближение Фраунгофера.
3. Дифракция Фраунгофера на прямоугольном отверстии, круглом отверстии и щели.
4. Амплитудные и фазовые дифракционные решетки.
5. Роль дифракции в приборах, формирующих изображение: линзе, телескопе и микроскопе.

Практическое занятие №13 «Дифракция рентгеновских лучей»

1. Дифракция на двумерной решетке.
2. Дифракция на трехмерной решетке.
3. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Вульфа-Брэгга.

Практическое занятие №14 «Дисперсия света»

1. Микроскопическая картина распространения света в веществе.
2. Линейный оптический осциллятор. Классическая электронная теория дисперсии.
3. Зависимости показателей преломления и поглощения от частоты. Фазовая и групповая скорости, их соотношение (формула Рэлея).
4. Нормальная и аномальная дисперсия показателя преломления. Дисперсионное рассеивание волновых пакетов.

Практическое занятие №15 «Поглощение света»

1. Сформулируйте закон Бугера–Ламберта.
2. Объясните механизм поглощения света диэлектриками. Почему спектры поглощения зависят от агрегатного состояния вещества?
3. Сформулируйте закон Бугера–Ламберта–Бера. Каковы границы его применимости?
4. Чем определяется окраска тел в проходящем и отраженном свете?
5. Что называется спектральной характеристикой вещества?

Практическое занятие №16 «Поляризация света»

1. Дайте определения линейно, циркулярно и эллиптически поляризованного света.
2. Математическое описание состояния поляризации.
3. Что такое поляризация естественного света?
4. Оптические явления на границе раздела изотропных диэлектриков. Формулы Френеля.
5. Поляризация отраженной и преломленной волн. Угол Брюстера.
6. Явление полного внутреннего отражения, его применения.
7. Оптика анизотропных сред. Распространение световых волн в анизотропных средах: эксперименты и элементы теории.
8. Уравнение волновых нормалей Френеля. Фазовая и лучевая скорости.

Практическое занятие №17 «Двойное лучепреломление»

1. Одноосные и двухосные кристаллы. Двойное лучепреломление света.
2. Качественный анализ распространения света с помощью построения Гюйгенса. Интерференция поляризованных волн.
3. Поляризационные приборы, четвертьволновые и полуволновые пластинки.
4. Получение и анализ эллиптически поляризованного света.
5. Понятие о гиротропных средах. Естественная оптическая активность. Сахарометрия.
6. Анизотропия оптических свойств, индуцированная механической деформацией, электрическим (эффекты Поккельса и Керра), магнитным (эффекты Фарадея и Коттона-Муттона) полями.

Практическое занятие №18 «Рассеяние света»

1. Молекулярное рассеяние света.
2. Зависимость интенсивности рассеянного света от частоты (формула Рэлея) и угловая диаграмма рассеяния.
3. Поляризация рассеянного света, его спектральный состав.
4. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. Спонтанное комбинационное рассеяние, крыло линии Рэлея.
5. Рассеяние света в мелкодисперсных и мутных средах.

Примерная тематика заданий для самостоятельного конспектирования

1. Основные понятия геометрической оптики
2. Построения в оптических системах
3. Интерференция света.
4. Основные интерференционные схемы.
5. Явление дифракции.
6. Дифракция на круглом отверстии и круглом экране.
7. Дифракция Фраунгофера на прямоугольном отверстии и щели.
8. Поляризация света.
9. Двойное лучепреломление.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

Для подготовки к ответам на экзаменационные вопросы обучающиеся должны использовать не только курс лекций и основную литературу, но и дополнительную литературу для выработки умения давать развернутые ответы на поставленные вопросы.

Ответы на теоретические вопросы должны быть даны в соответствии с формулировкой вопроса и содержать не только изученный теоретический материал, но и собственное понимание проблемы.

В ответах желательно привести примеры из практики.

Подготовку к экзамену по дисциплине необходимо начать с проработки основных вопросов, список которых приведен в рабочей программе дисциплины.

Для этого необходимо прочесть и уяснить содержание теоретического материала по учебникам и учебным пособиям по дисциплине. Список основной и дополнительной литературы приведен в рабочей программе дисциплины и может быть дополнен и расширен самими студентами.

Особое внимание при подготовке к экзамену необходимо уделить терминологии, т.к. успешное овладение любой дисциплиной предполагает усвоение основных понятий, их признаков и особенности.

Таким образом, подготовка к экзамену включает в себя:

- проработку основных вопросов курса;
- чтение основной и дополнительной литературы по темам курса;
- подбор примеров из практики, иллюстрирующих теоретический материал курса;
- выполнение промежуточных и итоговых тестов по дисциплине;
- систематизацию и конкретизацию основных понятий дисциплины;
- составление примерного плана ответа на экзаменационные вопросы.

Вопросы к экзамену (5 семестр)

1. Основы электромагнитной теории света. Уравнения Максвелла. Волновое уравнение. Скорость света.
2. Плотность энергии и импульса электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Интенсивность света.
3. Давление света. Опыты Лебедева.
4. Фотометрия. Энергетические и фотометрические величины, их взаимосвязь.
5. Модели оптического излучения. Монохроматические и квазимонохроматические волны, широкополосное излучение. Фурье анализ и Фурье синтез волновых полей.
6. Спектральная плотность мощности. Соотношение между длительностью импульса и шириной спектра.
7. Интерференция монохроматических волн. Расчет интерференционной картины от двух источников.
8. Интерференция квазимонохроматических волн. Функция видности.
9. Основные интерференционные схемы. Получение интерференционных картин делением волнового фронта (метод Юнга).
10. Основные интерференционные схемы. Получение интерференционных картин методом деления амплитуды (метод Френеля).
11. Полосы равной толщины и равного наклона. Кольца Ньютона. Интерферометр Майкельсона.
12. Временная когерентность, длина и время когерентности: спектральное и временное рассмотрение.
13. Пространственная когерентность. Радиус пространственной когерентности. Звездный интерферометр Майкельсона.
14. Многоволновая интерференция. Суперпозиция многих волн с равными амплитудами. Интерферометр Фабри-Перо. Пластика Люммера-Герке. Интерференционные фильтры и зеркала.
15. Применение интерферометров. Различные типы интерферометров (интерферометр Майкельсона, интерферометр Жамена, интерферометр Рэлея).
16. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционный интеграл и его трактовка.

17. Зоны Френеля. Применение векторных диаграмм для качественного анализа дифракционных картин. Зонная пластинка.
18. Простейшие дифракционные задачи: дифракция на круглом отверстии и круглом экране. Пятно Пуассона.
19. Простейшие дифракционные задачи: дифракция на краю полуплоскости, дифракция от щели. Спираль Корню.
20. Ближняя и дальняя зоны дифракции. Дифракция Фраунгофера от круглого отверстия. Разрешающая способность оптических инструментов. Критерий Рэлея.
21. Ближняя и дальняя зоны дифракции. Дифракция на прямоугольной бесконечной щели.
22. Дифракционная решетка. Амплитудные и фазовые дифракционные решетки. Основные характеристики дифракционной решетки.
23. Призмённые, дифракционные и интерференционные спектральные приборы и их основные характеристики: угловая и линейная дисперсия, разрешающая способность, область дисперсии.
24. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Вульфа-Брэгга.
25. Голография.
26. Рассеяние света. Зависимость интенсивности рассеянного света от частоты (формула Рэлея).
27. Поляризация света. Линейно, циркулярно и эллиптически поляризованный свет. Математическое описание состояния поляризации.
28. Получение и анализ поляризованного света. Закон Малюса.
29. Анизотропия оптических свойств, индуцированная механической деформацией, электрическим (эффекты Поккельса и Керра), магнитным (эффект Фарадея) полями.
30. Естественная оптическая активность. Сахарометрия.
31. Интерференция поляризованных волн. Поляризационные приборы (стопа Столетова, призма Николя, поляроиды), четвертьволновые и полуволновые пластинки. Получение и анализ эллиптически поляризованного света.
32. Явления на границе раздела анизотропных сред. Двойное лучепреломление света.
33. Распространение света в анизотропных средах. Оптическая ось. Фазовая (нормальная) и лучевая скорости. Одноосные и двуосные кристаллы.
34. Оптические явления на границе раздела изотропных диэлектриков. Формулы Френеля. Поляризация отраженной и прошедшей волн. Угол Брюстера. Явления полного внутреннего отражения и его применение.
35. Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта. Закон Бера.
36. Дисперсия света. Классическая электронная теория дисперсии.
37. Зависимость показателя преломления от частоты. Фазовая и групповая скорости, их соотношение (формула Рэлея).
38. Фазовая и групповая скорости света. Расплывание волновых пакетов.

Задачи к экзамену (5 семестр)

1. Расстояние между двумя когерентными источниками света (длина волны 0.5 мкм) равно 0.1 мм. Расстояние между интерференционными полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние от источников до экрана.
2. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны, испускаемую источником монохроматического света, если ширина полос интерференции на экране равна 1.5 м.
3. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 0.8 мм, длина волны 640 нм. На каком расстоянии от щелей следует разместить экран, чтобы ширина интерференционной полосы составила 2 мм.
4. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно 0.5 мм, расстояние от них до экрана 3 м. Длина волны света 0.6 мкм. Определить ширину полос интерференции на экране.
5. Для интерференции используется схема Ллойда. Расстояние от источника света (длина волны 0.6 мкм) до экрана равно 2 м, расстояние от источника до зеркала 0.55 мм. Что будет наблюдаться в точке, расположенной на таком же расстоянии от зеркала, свет или темнота.

6. На мыльную пленку ($n=1.3$), находящуюся в воздухе, нормально падает пучок белого света. При какой наименьшей толщине пленки отраженный свет с длиной волны 0.55 мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции
7. Пучок монохроматических волн с длиной волны 0.6 мкм падает под углом 30 градусов на находящуюся в воздухе мыльную пленку ($n=1.3$). При какой наименьшей толщине пленки отраженные световые волны будут максимально ослаблены интерференцией, максимально усилены?
8. На тонкий стеклянный клин нормально к его поверхности падает пучок лучей монохроматического света с длиной волны 600 нм . Определить угол между поверхностями клина, если расстояние между смежными интерференционными минимумами в отраженном свете равно 4 мм .
9. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволоку, расположенную параллельно линии соприкосновения пластинок и находящуюся на расстоянии 75 мм от неё. В отраженном свете (длина волны 0.5 мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр проволоки, если на протяжении 30 мм насчитывается 16 светлых полос.
10. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить толщину слоя воздуха там, где в отраженном свете (длина волны 0.6 мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.
11. Диаметр второго светлого кольца при наблюдении в отраженном свете (длина волны 0.6 мкм) равен 1.2 мм . Определить оптическую силу плосковыпуклой линзы, взятой для опыта.
12. Плосковыпуклая линза оптической силой 2 дптр выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус четвертого темного кольца Ньютона в проходящем свете равен 0.7 мм . Определить длину световой волны.
13. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы 4 м . Чему равна длина волны падающего света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3.6 мм .
14. В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения интерференционной картины на 500 полос потребовалось переместить зеркало на $0,161 \text{ мм}$. Чему равна длина волны света?
15. В каких пределах может изменяться толщина пластинки с $n=1,5$, чтобы в отраженном свете наблюдалось совпадение линий равного наклона для длин волн 550 нм и 525 нм .
16. В интерферометре Жамена на пути интерферирующих лучей (длина волны $0,73 \text{ мкм}$) две одинаковые трубки, закрытые прозрачными пластинками. Одна заполнена воздухом при нормальных условиях, а из другой он выкачан. Чему равен показатель преломления воздуха, если длина трубок 5 м и при выкачивании воздуха интерференционная картина сместилась на 20 полос.
17. На экране наблюдается интерференционная картина от двух когерентных источников света с длиной волны 480 нм . Когда на пути одного из пучков поместили тонкую пластинку из плавленого кварца с показателем преломления $1,46$, интерференционная картина сместилась на 69 полос. Определить толщину кварцевой пластинки.
18. Две дифракционные решетки имеют одинаковую ширину 3 мм , но разные периоды $0,003 \text{ мм}$ и $0,006 \text{ мм}$. Определить их наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия с длиной волны $589,6 \text{ нм}$.
19. Дифракционная картина получена с помощью дифракционной решетки длиной $1,5 \text{ см}$ и периодом 5 мкм . Определить в спектре какого наименьшего порядка этой картины получатся отдельные изображения двух спектральных линий с разностью длин волн $0,1 \text{ нм}$, если линии лежат в крайней красной части спектра (760 нм)
20. Какой наименьшей разрешающей силой должна обладать дифракционная решетка, чтобы с её помощью можно было разрешить две спектральные линии калия 578 и 580 нм . Какое наименьшее число штрихов должна иметь эта решетка, чтобы разрешение было возможно в спектре второго порядка.
21. С помощью дифракционной решетки с периодом 20 мкм требуется разрешить дублет натрия (589 нм и $589,6 \text{ нм}$) в спектре второго порядка. При какой наименьшей длине решетки это возможно.
22. Угловая дисперсия дифракционной решетки для излучения некоторой длины волны при малых углах дифракции составляет 5 мин/нм . Определить разрешающую силу этой решетки для излучения той же длины волны, если длина решетки равна 2 см .

23. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны 700 нм. За решеткой помещена собирающая линза с главным фокусным расстоянием 50 см. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Определить линейную дисперсию такой системы для максимума третьего порядка.
24. Нормально к поверхности дифракционной решетки падает пучок света. За решеткой помещена собирающая линза с оптической силой 1 дптр. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Определить число штрихов на 1 мм этой решетки, если при малых углах дифракции линейная дисперсия 1 мм/нм.
25. На шпилье высотного здания укреплены одна под другой две красные лампы (длина волны 640 нм). Расстояние между лампами 20 см. Здание рассматривают ночью в телескоп с расстояния 15 км. Определить наименьший диаметр объектива, при котором в его фокальной плоскости получаются отдельные дифракционные изображения.
26. Лазерный пучок света диаметром 0,01 м, расхожимость которого определяется только дифракцией, направлен на Луну. Длина волны лазерного излучения 0,633 мкм. Чему равен диаметр освещаемой поверхности на Луне.
27. Постоянная дифракционной решетки 2,5 мкм. Найти угловую дисперсию решетки для длины волны 589 нм в спектре первого порядка.
28. Прозрачная дифракционная решетка имеет период 1,5 мкм. Найти угловую дисперсию, соответствующую максимуму наибольшего порядка спектральной линии с длиной волны 530 нм, если свет падает на решетку нормально.
29. Свет с длиной волны 589 нм падает нормально на дифракционную решетку с периодом 2,5 мкм, содержащую 10000 штрихов. Найти угловую ширину дифракционного максимума второго порядка.
30. На какой угловой высоте над горизонтом должно находиться Солнце, чтобы солнечный свет, отраженный от поверхности воды, был полностью поляризован?
31. Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения отраженный свет полностью поляризован?
32. Анализатор в 2 раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Потери интенсивности света в анализаторе пренебречь.
33. В частично-поляризованном свете амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в $n = 2$ раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности. Определить степень поляризации P света.
34. Степень поляризации P частично-поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной?
35. На пути частично-поляризованного света, степень поляризации P которого равна 0,6, поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол 30° ?
36. Между двумя параллельными николями помещают кварцевую пластинку толщиной 1 мм, вырезанную параллельно оптической оси. При этом плоскость поляризации монохроматического света, падающего на поляризатор, повернулась на угол 20° . При какой минимальной толщине пластинки свет не пройдет через анализатор?
37. Линейно поляризованный световой пучок падает на поляризатор, вращающийся вокруг оси пучка с угловой скоростью 21 рад/с. Найти световую энергию, проходящую через поляризатор за один оборот, если поток энергии в падающем пучке 4 мВт.
38. Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол 30° , если в каждом из николей в отдельности теряется 10 % интенсивности падающего на него света?