

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 25.07.2025 14:54:34
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fec3ad1bf35f08

УП: 44.03.01 Пед обр
ФСООСПО 2025
ЗФО.plx

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

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП



Орлов Ю.Д.

4 марта 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Оптика

Закреплена за кафедрой:	Общей физики
Направление подготовки:	44.03.01 Педагогическое образование
Направленность (профиль):	Физика в системе основного, среднего общего и среднего профессионального образования
Квалификация:	бакалавр
Форма обучения:	заочная
Семестр:	3

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Жеренкова Л.В.

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Изучение основных законов и явлений линейной оптики

Задачи :

- Глубокое понимание основных закономерностей, описывающих явления волновой оптики и процессы взаимодействия света с веществом;
- применение основных законов линейной оптики для практического решения задач, связанных с оптическими явлениями;
- вывод основных законов оптики в виде математических уравнений.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Электричество и магнетизм

Высшая математика

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

Атомная физика

Методика преподавания физики

Физический демонстрационный эксперимент

Педагогическая практика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	6 ЗЕТ
Часов по учебному плану	216
в том числе:	
самостоятельная работа	183
часов на контроль	9

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

ОПК-8.1: Применяет базовые знания в области физико-математических наук в образовательной деятельности

ОПК-8.2: Проводит научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывает и представляет экспериментальные данные

ОПК-8.3: Решает теоретические задачи и проводит моделирование физических объектов, систем и процессов в рамках научного исследования

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.2: Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля на курсах:	
экзамены	3

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

№	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Сем.	Часов	Примечание
	Раздел 1. 1. Введение				
1.1	Введение	Лек	3	0.25	
	Раздел 2. 2. Основные свойства электромагнитных волн				
2.1	Основные свойства электромагнитных волн	Лек	3	0.5	
2.2	Практика по теме "Основные свойства электромагнитных волн"	Пр	3	1	
2.3	Основные свойства электромагнитных волн	Ср	3	16	
	Раздел 3. 3. Распространение электромагнитных волн в однородных изотропных диэлектриках				
3.1	Распространение электромагнитных волн в однородных изотропных диэлектриках	Лек	3	0.5	
3.2	Решение задач по теме "Распространение света в диэлектриках"	Пр	3	1	
3.3	Изучение темы "Распространение электромагнитных волн в однородных изотропных диэлектриках"	Ср	3	8	
3.4	Естественный и поляризованный свет	Лаб	3	1	
	Раздел 4. 4. Интерференция света				
4.1	Интерференция света	Лек	3	0.5	
4.2	Решение задач по интерференции света	Пр	3	1	
4.3	Изучение дополнительного материала по теме "Интерференция света"	Ср	3	10	
4.4	Кольца Ньютона	Лаб	3	1	
4.5	Определение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля	Лаб	3	1	
	Раздел 5. 5. Дифракция света				
5.1	Дифракция света	Лек	3	0.5	

5.2	Решение задач по теме "Дифракция света"	Пр	3	1	
5.3	Изучение прикладных аспектов дифракции света	Ср	3	16	
5.4	Дифракционная решетка	Лаб	3	1	
	Раздел 6. 6. Дифракция на периодических структурах				
6.1	Дифракция на периодических структурах	Лек	3	0.5	
6.2	Дифракция в кристаллах: решение задач	Пр	3	1	
6.3	Изучение вопросов практического применения дифракции в кристаллах	Ср	3	16	
	Раздел 7. 7. Разложение излучения в спектр и основные характеристики спектральных приборов				
7.1	Основные характеристики спектральных приборов: дифракционной решетки, микроскопа и телескопа	Лек	3	0.5	
7.2	Решение задач по теме "Спектральные характеристики приборов"	Пр	3	0.5	
7.3	Основные характеристики эшелеттов	Ср	3	10	
7.4	Светофильтры - простейшие монохроматоры света	Лаб	3	1	
	Раздел 8. 8. Разрешающая способность оптических приборов				
8.1	Разрешающая способность оптических приборов	Лек	3	0.5	
8.2	Решение задач по теме "Разрешающая способность микроскопа и телескопа"	Ср	3	12	
8.3	Методы улучшения разрешающей способности	Ср	3	8	
8.4	Определение увеличения оптической трубы и микроскопа	Лаб	3	1	
8.5	ИЗУЧЕНИЕ И СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКИХ ЛИНЗ	Лаб	3	1	
	Раздел 9. 9. Оптическая голография				
9.1	Оптическая голография	Лек	3	0.25	
9.2	Рассмотрение схем голографических установок	Ср	3	8	
9.3	Изучение разновидностей голографических схем	Ср	3	10	
	Раздел 10. 10. Распространение света в анизотропных средах				
10.1	Распространение света в анизотропных средах	Ср	3	10	
10.2	Решение задач по теме "Двулучепреломление"	Ср	3	8	
10.3	Изучение вопросов распространения света в одноосных кристаллах	Ср	3	10	

10.4	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ	Лаб	3	1	
	Раздел 11. 11. Молекулярная оптика				
11.1	Изучение основных явлений взаимодействия оптического излучения с веществом	Лек	3	0.5	
11.2	Решение задач по молекулярной оптике	Пр	3	0.5	
11.3	Изучение искусственной оптической анизотропии	Ср	3	10	
	Раздел 12. 12. Тепловое излучение				
12.1	Законы теплового излучения	Лек	3	0.5	
12.2	Решение задач по теме "Тепловое излучение"	Пр	3	0.5	
12.3	История открытия законов теплового излучения. Практические применения.	Ср	3	9	
12.4	Изучение некоторых законов теплового излучения с помощью оптического пирометра	Лаб	3	1	
	Раздел 13. 13. Лазеры и нелинейная оптика				
13.1	Изучения основных принципов работы лазеров. Вынужденное излучение.	Лек	3	0.5	
13.2	Изучение различных типов лазеров	Пр	3	0.5	
13.3	Применения лазеров	Ср	3	10	
	Раздел 14. 14. Фотоэлектрический эффект				
14.1	Изучение законов фотоэффекта	Лек	3	0.5	
14.2	Решение задач по теме "Фотоэффект"	Пр	3	1	
14.3	Внешний и внутренний фотоэффекты. Применения.	Ср	3	12	
14.4	Изучение явления фотоэффекта	Лаб	3	1	
	Раздел 15. экзамен				
15.1	экзамен	Экзамен	3	9	

Образовательные технологии

традиционная лекция

решение групповых и индивидуальных задач

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
---	-------------------

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

см. Приложение 1

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Задание:

На основе расчета основных спектральных характеристик доказать преимущества эшелетта по сравнению с обычной амплитудной решеткой

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки: •

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления. Составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает трудности с составлением правильных математических соотношений. Совершает алгебраические ошибки.

Задание:

Плоскополяризованный свет падает на николь так, что угол между плоскостями поляризации света и главного сечения николя равен 60° . Определить толщину николя, если интенсивность света уменьшилась в 6 раз. Коэффициент отражения на грани призм $\rho=0.1$, коэффициент поглощения $K=2 \text{ м}^{-1}$.

Способ аттестации: письменный.

Критерии оценки: •

- Высокий уровень (3 балла): Понимает физику явления. Составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- Средний уровень (2 балла): Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- Низкий уровень (1 балл): Понимает физику явления. Испытывает трудности с составлением правильных математических соотношений. Совершает алгебраические ошибки.

Задание:

Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. Наблюдение ведется в отраженном свете. Радиусы двух соседних темных колец соответственно 4,0 мм и 4,4 мм. Радиус кривизны линзы равен 6,72 м. Найти длину волны падающего света.

а) $4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$; б) $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$; в) $6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$; г) $7,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки: •

- Высокий уровень (3 балла): Выбирает правильные ответы на поставленный вопрос. Не допускает ошибки.

- Средний уровень (2 балла): Выбирает один правильный ответ. Не допускает ошибки.

- Низкий уровень (1 балл): Выбирает несколько ответов. Присутствует минимум 1 правильный ответ и один неправильный.

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Всего студент может получить 100 баллов = 60 баллов на модули + 40 баллов на экзамене

В каждом модуле студент может получить максимум 30 баллов, из них 20 баллов за текущую работу, а 10 баллов – за рейтинговый контроль.

Обучающемуся, набравшему 40–54 балла, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в рейтинговой ведомости учета успеваемости и зачетной книжке может быть выставлена оценка «удовлетворительно».

Обучающемуся, набравшему 55–57 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премияльные баллы» может быть добавлено 15 баллов и выставлена экзаменационная оценка «хорошо».

Обучающемуся, набравшему 58–60 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премияльные баллы» может быть добавлено 27 баллов и выставлена экзаменационная оценка «отлично».

Обучающийся, набравший до 39 баллов включительно, сдает экзамен.

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

Рекомендуемая литература

Основная

Шифр	Литература
Л.1.1	Савельев И. В., Курс физики. В 3 томах. Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, Санкт-Петербург: Лань, 2024, ISBN: 978-5-507-47404-2, URL: https://e.lanbook.com/book/367055

Перечень программного обеспечения

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

Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС IPRbooks
5	ЭБС «Лань»
6	ЭБС BOOK.ru
7	ЭБС ТвГУ

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-226	комплект учебной мебели, Микшерный пульт, Аудиокомплект, Интерактивная система, проектор, Телекоммуникационные шкафы, экран, компьютер
3-2026	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, переносной мультимедийный проектор, экран

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

см. приложение

Приложение.

Задание:

На основе расчета основных спектральных характеристик доказать преимущества эшелетта по сравнению с обычной амплитудной решеткой

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки: •

- **Высокий уровень (3 балла):** Понимает физику явления. Составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Средний уровень (2 балла):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Низкий уровень (1 балл):** Понимает физику явления. Испытывает трудности с составлением правильных математических соотношений. Совершает алгебраические ошибки.

Задание:

Плоскополяризованный свет падает на николь так, что угол между плоскостями поляризации света и главного сечения николя равен 60° . Определить толщину николя, если интенсивность света уменьшилась в 6 раз. Коэффициент отражения на грани призм $\rho=0.1$, коэффициент поглощения $K=2 \text{ м}^{-1}$.

Способ аттестации: письменный.

Критерии оценки: •

- **Высокий уровень (3 балла):** Понимает физику явления. Составляет математические выражения для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Средний уровень (2 балла):** Понимает физику явления. Испытывает сложности с составлением математических выражений для получения решения. Получает правильный ответ.

- **Низкий уровень (1 балл):** Понимает физику явления. Испытывает трудности с составлением правильных математических соотношений. Совершает алгебраические ошибки.

Задание:

Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. Наблюдение ведется в отраженном свете. Радиусы двух соседних темных колец соответственно 4,0 мм и 4,4 мм. Радиус кривизны линзы равен 6,72 м. Найти длину волны падающего света.

- а) $4,2 \cdot 10^{-7}$ м; б) $5 \cdot 10^{-7}$ м; в) $6 \cdot 10^{-7}$ м; г) $7,3 \cdot 10^{-7}$ м.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки: •

- **Высокий уровень (3 балла):** Выбирает правильные ответы на поставленный вопрос. Не допускает ошибки.

- **Средний уровень (2 балла):** Выбирает один правильный ответ. Не допускает ошибки.

- **Низкий уровень (1 балл):** Выбирает несколько ответов. Присутствует минимум 1 правильный ответ и один неправильный.

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

– планы практических (семинарских) занятий:

Семинар 1: Решение задач на тему «Законы геометрической оптики».

Примеры задач:

1. Определить, насколько плоскопараллельная стеклянная пластинка толщины $d = 10$ см смещает в сторону луч света, падающий на нее под углом $\varphi = 70^\circ$. Показатель преломления стекла $n = 1.5$.
2. Собирающая линза дает изображение некоторого предмета на экране. Высота изображения равна H_1 . Оставляя неподвижными экран и предмет, начинают двигать линзу к экрану и находят, что при втором четком изображении предмета высота изображения равна H_2 .

3. Матовое стекло фотоаппарата установлено так, что резким выходит изображение предмета, находящегося на расстоянии 5 м. До какого диаметра D нужно задиафрагмировать объектив с фокусным расстоянием 20 см, чтобы не была заметной нерезкость в изображении предметов, находящихся на 0.5 м ближе снимаемого (нерезкость считать незаметной, если размытость деталей не превышает 0.1 мм)?

Семинар 2: Решение задач на тему «Оптические приборы». Примеры задач:

1. Вывести формулу для увеличения микроскопа с фокусными расстояниями объектива $F_{об}$ и окуляра $F_{ок}$ и длиной тубуса Δ . Расстояние наилучшего зрения $D = 25$ см.
2. Оптические силы объектива и окуляра микроскопа равны 100 и 20 дптр. Увеличение микроскопа равно 50. Каково будет увеличение этого микроскопа, если расстояние между объективом и окулярным увеличить на 2.0 см?
3. Фокусное расстояние объектива трубы Галилея $F_1 = 45$ см, окуляра $F_2 = 5$ см. При замене линз в трубе на две положительные получилась труба Кеплера с тем же увеличением, что и труба Галилея. Найти фокусные расстояния двух собирающих линз.

Семинар 3: Решение задач на тему «Плоскополяризованный свет. Формулы Френеля». Примеры задач:

Определить угол полной поляризации, если свет падает из воды (показатель преломления 1.33) в стекло (1.6). Как поляризован падающий луч, если в этом случае отраженные лучи отсутствуют?

Естественный луч света падает на поверхность стеклянной пластинки, погруженной в жидкость. Показатель преломления стекла равен 1.5. Отраженный от пластинки луч образует угол 97° с падающим лучом. Определить показатель преломления жидкости, если отраженный луч поляризован.

Один поляроид пропускает 30% света, если на него падает естественный свет. После прохождения света через 2 поляроида интенсивность падает до 9%. Найти угол между осями поляроидов.

Луч света последовательно проходит через 2 николя, плоскости пропускания которых образуют угол 40° . Принимая, что коэффициент поглощения каждого

николя равен 0.2, найти, во сколько раз луч, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с лучом, падающим на первый николю. Свет естественный.

Семинар 4: Решение задач на тему «Интерференция». Примеры задач:

1. Направления распространения двух плоских волн одной и той же длины λ составляют друг с другом малый угол φ . Волны падают на экран, плоскость которого приблизительно перпендикулярна к направлению их распространения. Написав уравнения обеих плоских волн и сложив поля этих волн, показать, что расстояние Δx между двумя соседними интерференционными полосами на экране определяется выражением $\Delta x = \lambda / \varphi$.
2. Ширина интерференционной полосы $\Delta x = 1$ мм. Расстояние от линии соединения зеркал Френеля до источника $r = 10$ см, до экрана $a = 1$ м. $\lambda = 4861$ А. Найти угол между зеркалами α .
3. От двух когерентных источников света получена система интерференционных полос на экране, удаленном от источников на расстояние $a = 2$ м. Во сколько раз изменится ширина интерференционных полос, если между источниками и экраном поместить собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 25$ см. Рассмотреть два случая: 1) расстояние линзы от источников равно $2F = 50$ см; 2) источники находятся в фокальной плоскости линзы.
4. Из линзы с фокусным расстоянием $F = 50$ см вырезана центральная часть ширины a . Обе половины линзы сдвинуты до соприкосновения. По одну сторону линзы помещен точечный источник монохроматического света ($\lambda = 6000$ А). С противоположной стороны линзы помещен экран, на котором наблюдаются полосы интерференции. Расстояние между соседними светлыми полосами $\Delta x = 0.5$ мм и не изменяется при перемещении экрана вдоль оптической оси. Найти a .
5. В очень тонкой клиновидной пластинке в отраженном свете при нормальном падении наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними темными полосами $\Delta x = 5$ мм. Зная, что длина световой волны равна $\lambda = 5800$ А, а показатель преломления пластинки $n = 1.5$, найти угол α между гранями пластинки.
6. Кольца Ньютона получаются между двумя плосковыпуклыми линзами, прижатыми друг к другу своими выпуклыми поверхностями. Найти радиус m -го

темного кольца, если длина световой волны равна λ , а радиусы кривизны выпуклых поверхностей линз равны R_1 и R_2 . Наблюдение ведется в отраженном свете.

Семинар 5: Решение задач на тему «Дифракция света». Примеры задач:

1. Вычислить радиус m -й зоны Френеля, если расстояние от источника до зонной пластинки равно a , а расстояние от пластинки до места наблюдения равно b . Длина волны λ . Вычислить радиус m -й зоны Френеля при условии, что на зонную пластинку падает плоская волна.
2. Найти угловое распределение интенсивности света при фраунгоферовой дифракции на решетке из N щелей и с периодом d при условии, что световые лучи падают на решетку нормально, а ширина щели равна b .
3. Дифракционная решетка имеет 1000 штрихов. Сколько штрихов должна иметь решетка, чтобы угловая ширина главного максимума уменьшилась в два раза?
4. Подсчитать минимальное число штрихов решетки, которая может разрешить натриевый дублет ($\lambda_1 = 5890 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 5896 \text{ \AA}$) в спектре первого порядка.
5. Каково должно быть фокусное расстояние f_2 окуляра микроскопа, чтобы была полностью использована разрешающая способность объектива? Числовая апертура объектива равна $n \sin \alpha$, фокусное расстояние объектива f_1 , длина тубуса (трубы микроскопа) L . Длину тубуса можно считать равной расстоянию между объективом и плоскостью первого изображения (т.е. изображения, даваемого объективом).

Семинар 6: Решение задач на тему «Элементы кристаллооптики. Эллиптически поляризованный свет». Примеры задач:

1. Смесь света, поляризованного по кругу, и естественного рассматривается через пластинку в $\lambda/4$ и николю. При вращении николя вокруг оси светового пучка найдено, что $I_{\max}$ света, прошедшего через систему, в 3 раза превосходит $I_{\min}$. Найти отношение интенсивности света, поляризованного по кругу, к интенсивности естественного света.

2. Показатель преломления кристаллического кварца для длины волны $\lambda = 589$ нм равен $n_o = 1.544$ для обыкновенного луча и $n_e = 1.553$ для необыкновенного луча. На пластинку из кварца, вырезанную параллельно оптической оси, нормально падает линейно поляризованный свет указанной длины волны, занимающий спектральный интервал $\Delta\lambda = 40$ нм. Найти толщину пластинки d и направление поляризации падающего света, если свет после пластинки оказался неполяризованным.
3. Параллельный пучок неполяризованного монохроматического света падает на пластинку в $\lambda/2$. Интенсивность света в некоторой точке наблюдения P за пластинкой равна I_0 . Из пластинки вырезают диск, закрывающий полторы зоны Френеля для точки P . Диск повернули вокруг луча на угол 90° и поставили на место. Какой стала интенсивность I в точке P ?

Семинар 7: Решение задач на тему «Дисперсия света. Поглощение и рассеяние света». Примеры задач:

1. Показатель преломления ионосферы для радиоволн с частотой $\nu = 10$ МГц равен $n = 0.9$. Найти концентрацию N электронов в ионосфере, а также фазовую ν_ϕ и групповую ν_{gr} скорости для этих радиоволн.
2. При прохождении в некотором веществе пути l интенсивность света I уменьшается в 2 раза. Во сколько раз уменьшится интенсивность при прохождении в этом же веществе пути $3l$?
3. Во сколько раз интенсивность молекулярного рассеяния синего света ($\lambda = 460$ нм) превосходит интенсивность рассеяния красного света ($\lambda = 650$ нм)?
4. Найти частоту собственных колебаний ν молекулы брома, дающей при комбинационном рассеянии линии $\lambda = 3131.6 \text{ \AA}$ спутник с длиной волны $\lambda = 3164.0 \text{ \AA}$.

Семинар 8: Решение задач на тему «Законы теплового излучения». Примеры задач:

1. Имеется два абсолютно черных источника теплового излучения. Температура одного из них $T_1 = 2500$ К. Найти температуру другого источника, если длина волны, отвечающая максимуму его испускательной

способности, на $\Delta\lambda = 500$ мкм больше длины волны, соответствующей максимуму испускательной способности первого источника.

2. Найти температуру полностью ионизованной водородной плазмы плотностью $\rho = 0.10$ г/см³, при которой давление теплового излучения равно газокинетическому давлению частиц плазмы. Иметь в виду, что давление теплового излучения $p = u/3$, где u — объемная плотность энергии излучения, и что при высоких температурах вещества подчиняются уравнению состояния идеальных газов.

– сборники задач:

1. Сборник задач по общему курсу физики. Ч.2 Электричество и магнетизм. Оптика. /Под ред. В.А. Овчинкина. М.: МФТИ, 2009.-475 с.
2. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб.: Лань, 2005.-288с.
3. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2001. – 432с.
4. Сборник задач по общему курсу физики. В 5 т. Кн. IV. Оптика / Под ред. Д. В. Сивухина. М.: ФИЗМАТЛИТ; ЛАНЬ, 2006. - 272 с.

– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

Темы рефератов:

1. Человеческий глаз как оптический прибор.
2. Природные оптические явления.
3. Интерферометры и их применение в науке и технологиях.
4. Комбинационное рассеяние света как важный экспериментальный метод.
5. Виды лазеров и их использование.

Тестовые и типовые задания для проверки знаний и умений

Вариант 1.

1. Сформулировать основные законы геометрической оптики.
2. В чем заключается явление полного внутреннего отражения?
3. Записать систему уравнений Максвелла.
4. Написать основные соотношения между векторами напряженностей плоской электромагнитной волны и волновым вектором.
5. Написать уравнение плоской монохроматической волны, которая распространяется в направлении, определяемом волновым вектором.
6. Какова связь между абсолютными значениями векторов напряженностей электрического и магнитного полей в плоской волне.
7. Какой физический смысл показателя преломления среды? Как он связан с диэлектрической и магнитной проницаемостями?
8. Написать граничные условия для тангенциальных составляющих векторов напряженностей электрического и магнитного полей.
9. Написать выражение для вектора Умова-Пойнтинга и пояснить его физический смысл.
10. Дать определение интенсивности света. Как интенсивность связана с амплитудой волны?
11. Как связаны между собой фазовая и групповая скорости? Пояснить смысл введения групповой скорости.
12. Написать формулу Рэлея и нарисовать диаграмму Эренфеста.
13. Написать формулы Френеля для амплитуд отраженного света.
14. Что такое когерентность волн?
15. В чем заключается явление интерференции световых лучей?
16. Что такое время когерентности? Как длина когерентности связана со временем когерентности?
17. Что такое оптическая длина пути?
18. Какому условию должна удовлетворять разность хода между интерферирующими лучами для наблюдения в заданной точке максимума (минимума) интенсивности?
19. Напишите формулу интенсивности при многолучевой интерференции.
20. Принцип работы интерферометра Фабри-Перо.

21. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
22. Что называется дифракцией Френеля и дифракцией Фраунгофера?
23. Принцип разбиения волнового фронта на зоны Френеля.
24. Что такое пятно Пуассона?
25. Напишите условие минимумов интенсивности при дифракции на узкой щели.
26. Что такое фазовая и амплитудная дифракционные решетки?
27. Напишите основное уравнение дифракционной решетки.
28. Что такое синусоидальная дифракционная решетка?
29. Сформулируйте критерий Релея в общем виде.
30. Что такое разрешающая способность оптических приборов?
31. Разрешающая способность дифракционной решетки.
32. Назвать основные характеристики спектральных приборов.
33. Напишите формулу для разрешающей способности телескопа.
34. Разрешающая способность микроскопа.
35. Как отличить свет с круговой поляризацией от неполяризованного света?
36. Как отличить частично-поляризованный свет, от света с эллиптической поляризацией?
37. Что такое фазовые пластинки $\lambda/2$ и $\lambda/4$?
38. Что такое оптическая активность?
39. Электрооптический эффект. Написать формулы, описывающие эффект Керра и эффект Поккельса.
40. Что такое главная оптическая ось кристалла?
41. Что такое двулучепреломление в кристалле?
42. Сформулировать основной принцип работы лазера.
43. Перечислить основные отличительные характеристики излучения лазера.
44. Какие процессы лежат в основе работы полупроводникового лазера?
45. Особенности теплового излучения.
46. Что такое абсолютно черное тело?
47. Сформулировать основные законы теплового излучения.
48. Сформулировать основные законы фотоэффекта.
49. Какие физические явления лежат в основе голографии?
50. Что такое рассеяние в мутных средах?

Вариант 2.

1. Получить амплитудные соотношения при нормальном падении электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектриков.
2. Проанализировать фазовые соотношения для отраженного и преломленного света на основе формул Френеля.
3. Дать определения коэффициентов отражения и пропускания света. Получить их выражения для случая нормального падения электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектриков.
4. Каков характер поляризации отраженного света, если луч падает на границу раздела двух сред под углом Брюстера?
5. Описать схему для реализации интерференции в оптике.
6. В каком случае в результате интерференции на экране образуются полосы, а в какой кольца?
7. Почему интерференционная картина в тонких пленках ухудшается при увеличении толщины пленки?
8. Почему мыльные пузыри окрашены в разные цвета?
9. Что такое полосы равной толщины и равного наклона?
10. Почему центр колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете, темный?
11. Какова интенсивность света I в фокусе зонной пластинки, если закрыты все зоны, кроме первой? Интенсивность света без пластинки равна I_0 .
12. Получить уравнение дифракционной решетки.
13. Как изменится дифракционная картина от дифракционной решетки, если ее щели перекрыть через одну?
14. Оценить разрешающую способность человеческого глаза.
15. Как улучшить разрешающую способность микроскопа?
16. Почему небо голубое, а солнце на закате красное?
17. Нарисовать зависимость показателя преломления от частоты света для случаев нормальной и аномальной дисперсии.
18. В чем экспериментальная трудность изучения аномальной дисперсии?
19. Каким образом угол поворота плоскости поляризации в эффекте Фарадея зависит от величины внешнего магнитного поля?
20. Может показатель преломления быть меньше единицы?
21. Как связаны между собой поглощательная и излучательная способности тела?

22. Получить формулу смещения Вина из формулы Планка.

23. Какова роль спонтанного излучения в ослаблении интенсивности проходящего через среду света?

Для проверки знаний основных формул предлагается решить тестовые задания, примеры которых приведены ниже.

Тестовые задания

1. Назовите особенности, свойственные когерентным волнам

- а) частоты волн одинаковы; б) разность частот постоянна;
в) разность фаз постоянна или равна нулю; г) амплитуды волн
постоянны.

2. Какими способами можно осуществить когерентность источников в оптике?

- а) с помощью линзы;
- б) путем замены одного действительного источника на два мнимых;
- в) с помощью бипризмы Френеля;
- г) с помощью бизеркал Френеля.

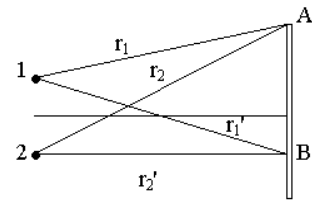
3. Когерентные волны ослабляют друг друга в данной точке пространства при следующих условиях

- а) оптическая разность хода равна нечетному числу $\lambda/2$;
б) геометрическая разность хода равна четному числу $\lambda/2$;
в) оптическая разность хода равна четному числу λ ;
г) геометрическая разность хода равна нечетному числу λ .

4. Укажите особенности, присущие явлению интерференции

- а) в области пространства, где складываются две или несколько волн, происходит усиление света;
- б) в области наложения двух волн происходит перераспределение энергии, так что интенсивность света в одних точках больше, а в других – меньше;
- в) явление интерференции возникает при наложении когерентных волн;
- г) явление интерференции возникает при наложении волн различной частоты.

5. Пусть 1 и 2 – точечные когерентные источники света (см.рис.).

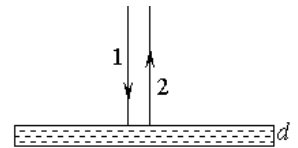


$$r_1 = 2000\lambda, r_2 = 2010\lambda, r_1' = 1700\lambda, r_2' = 1690,5\lambda.$$

В точках А и В на экране наблюдается

- а) А – минимум, В – максимум;
- б) А – максимум, В – минимум;
- в) интенсивность в точках А и В равна половине от максимальной;
- г) интенсивность в точке А минимальна, в точке В равна 1/3 от максимальной.

6. На тонкую пленку толщины d и показателем преломления n , и граничащую с обеих сторон с воздухом, падает нормально монохроматический луч с длиной волны λ . При каком условии в отраженном луче наблюдается максимум интерференции



- а) $2dn = (k+1)\lambda$; б) $dn = (k+1/2)\lambda$; в) $2dn = (k-1/2)\lambda$; г) $dn = (k+1)\lambda$.

7. Подвижное зеркало интерферометра Майкельсона смещается на величину $\Delta x = 4\lambda$. На сколько при этом изменится число максимумов в интерференционной картине?

- а) 8; б) 4; в) 2; г) 16.

8. Разность хода двух интерферирующих лучей $0,3\lambda$. Разность фаз колебаний равна

- а) 0; б) π ; в) $0,6\pi$; г) 2π .

9. При помощи зеркал Френеля получили интерференционные полосы, пользуясь красным светом. Как изменится картина интерференционных полос, если воспользоваться фиолетовым светом?

- а) полосы станут шире;
- б) полосы станут уже;
- в) полосы будут расположены ближе друг к другу;
- г) полосы будут располагаться дальше друг от друга.

10. Объясните принцип действия "просветленного" объектива

- а) линзы изготавливаются из стекла с минимальным коэффициентом поглощения;

б) линзы изготавливаются из стекла с максимальным коэффициентом отражения;

в) на поверхность объектива наносится тонкая пленка, такая, что в отраженном свете наблюдается минимум интерференции;

г) коэффициент преломления линзы должен быть как можно меньше.

11. В чем заключается "просветление оптики"

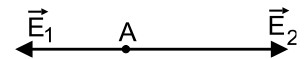
а) в нанесении на поверхность стекла пленки с показателем преломления больше показателя преломления стекла;

б) в нанесении на поверхность стекла пленки с показателем преломления меньше показателя преломления стекла;

в) в нанесении на поверхность стекла пленки толщиной, равной четверти длины волны падающего света;

г) в нанесении на поверхность стекла пленки толщиной, равной половине длины волны падающего света;

12. Фазовая диаграмма сложения колебаний при интерференции когерентных волн от двух источников в точке А имеет вид, представленный на рис. При этом в точке А наблюдается



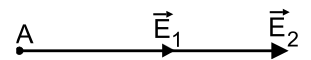
а) минимум освещенности;

б) максимум освещенности;

в) освещенность имеет промежуточное значение между максимальной и минимальной;

г) правильного ответа нет.

13. Фазовая диаграмма сложения колебаний при интерференции когерентных волн от двух источников в точке А имеет вид, представленный на рис. При этом в точке А наблюдается



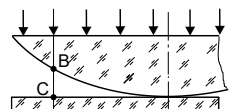
а) минимум освещенности;

б) максимум освещенности;

в) освещенность имеет промежуточное значение между максимальной и минимальной;

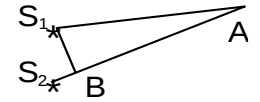
г) правильного ответа нет.

14. При наблюдении колец Ньютона отраженном свете оптическая разность хода интерферируемых лучей равна



- а) BC ; б) $2 \cdot BC$;
 в) $2n \cdot BC + \lambda/2$; г) правильного ответа нет.

15. На рис. разность хода лучей в точку М от двух источников S_1 и S_2 изображена отрезком



- а) S_1S_2 ; б) S_1B ; в) S_2B ; г) S_1M .

16. Условие интерференционного максимума при наблюдении колец Ньютона на воздухе имеет вид

- а) $\Delta = m \cdot \lambda$; б) $\Delta = \frac{(m+1)}{2} \cdot \lambda$; в) $2h = m \cdot \lambda$; г) $2 \cdot h = \left[\frac{(m-1)}{2m} - 1 \right] \cdot \lambda$;

где h - толщина воздушной прослойки в месте наблюдения, Δ - разность хода лучей, m - целое число.

17. Условие интерференционного минимума при наблюдении колец Ньютона на воздухе имеет вид

- а) $\Delta = m \cdot \lambda$; б) $\Delta = \frac{(m+1)}{2} \cdot \lambda$; в) $2h = m \cdot \lambda$; г) $2 \cdot h = \left[\frac{(m-1)}{2m} - 1 \right] \cdot \lambda$;

где h - толщина воздушной прослойки в месте наблюдения, Δ - разность хода лучей, m - целое число.

18. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. Наблюдение ведется в отраженном свете. Радиусы двух соседних темных колец соответственно 4,0 мм и 4,4 мм. Радиус кривизны линзы равен 6,72 м. Найти длину волны падающего света.

- а) $4,2 \cdot 10^{-7}$ м; б) $5 \cdot 10^{-7}$ м; в) $6 \cdot 10^{-7}$ м; г) $7,3 \cdot 10^{-7}$ м.

19. Установка для получения колец Ньютона освещается белым светом, падающим нормально. Наблюдение производится в отраженном свете. Радиус кривизны линзы равен 5 м. Найти радиус четвертого зеленого кольца ($\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см).

- а) 2,25 мм; б) 3,16 мм; в) 5,43 мм; г) 10 мм.

20. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны 0,6 мкм, падающим нормально. Найти толщину воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается четвертое темное кольцо в отраженном свете.

- а) 0,4 мкм; б) 0,8 мм; в) 1,2 мкм; г) 2,4 мм.

21. Выберите неверные утверждения. Согласно принципу Гюйгенса - Френеля

- а) каждая точка волнового фронта рассматривается как источник вторичных волн;
- б) каждая точка среды рассматривается как источник вторичных волн;
- в) новое положение волнового фронта можно рассматривать как результат интерференции волн от вторичных источников;
- г) вторичные источники волн когерентны.

22. Явление дифракции можно наблюдать в следующих случаях

- а) при преломлении света на границе двух сред;
- б) при прохождении света через малое отверстие в непрозрачном экране;
- в) при огибании светом малых непрозрачных препятствий;
- г) при отражении света от границы раздела двух сред.

23. Выберите правильные утверждения

- а) дифракция - это преломление светового луча на границе двух сред;
- б) дифракция - это отклонение света от прямолинейного распространения и захождение в область геометрической тени;
- в) дифракция подтверждает волновую природу света;
- г) дифракция - это наложение волн от двух когерентных источников.

24. Условие минимума при дифракции на щели выражается формулой

а) $\sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2b}$; б) $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{2b}$; в) $\sin \varphi = k \frac{\lambda}{b}$; г) $\sin \varphi = \frac{x}{2L} k$.

25. Какой должна быть ширина щели, чтобы первый дифракционный минимум наблюдался под углом 90° при освещении красным светом с длиной волны 760 нм?

- а) $7,6 \cdot 10^{-7}$ м; б) $3,8 \cdot 10^{-7}$ м; в) $11,4 \cdot 10^{-7}$ м; г) ширина щели стремится к 0.

26. Как изменится дифракционная картина на экране при уменьшении ширины щели?

- а) увеличится расстояние между соседними дифракционными полосами;
- б) уменьшится расстояние между соседними дифракционными полосами;
- в) увеличится ширина отдельных дифракционных полос;
- г) уменьшится ширина отдельных дифракционных полос.

27. При каком условии можно наблюдать дифракцию?

- а) длина волны гораздо меньше размеров предмета;
- б) длина волны равна размерам предмета;
- в) длина волны соизмерима с линейными размерами предмета или больше их;
- г) источник волн должен быть когерентным.

28. Минимальная ширина щели, при которой еще будут наблюдаться минимумы интенсивности, равна

- а) длине волны;
- б) двум длинам волны;
- в) половине длины волны;
- г) однозначного ответа дать нельзя.

29. На щель шириной 3 мкм нормально падает плоская световая волна ($\lambda = 0,5$ мкм). Определить количество наблюдаемых максимумов интенсивности.

- а) 6; б) 10; в) 11; г) 12.

30. Условие максимума для дифракционной решетки имеет вид (b - ширина щели, d - постоянная решетки, Δ - разность хода лучей, λ - длина волны)

- а) $b \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$, б) $\Delta = k\lambda$,
- в) $d \sin \varphi = k\lambda$, г) $\Delta = d \sin \varphi$.

31. В каких местах экрана при дифракции на решетке наблюдаются максимумы?

- а) против прозрачных щелей;
- б) в точках, где совпадают фазы волн, пришедших от различных щелей решетки;
- в) в точках, где волны от различных щелей имеют разность хода, равную целому числу длин волн;
- г) в точках, где волны от различных щелей имеют разность хода, равную нечетному числу длин полуволн.

32. Что такое угловая дисперсия дифракционной решетки?

- а) явление разложения белого света в спектр;
- б) угловое расстояние между соседними линиями в спектре;
- в) угловое расстояние между линиями, различающимися по длине волны на $\Delta\lambda$;

г) угловое расстояние между линиями, различающимися по длине волны на единицу.

33. Угловая дисперсия дифракционной решетки увеличивается

а) с увеличением порядка спектра; б) с увеличением периода решетки;

в) с увеличением числа щелей решетки; г) с увеличением длины волны.

34. Разрешающая способность дифракционной решетки характеризует

а) ширину отдельных спектральных линий;

б) общую ширину спектра;

в) расстояние между соседними спектральными линиями;

г) расстояние между соседними штрихами решетки.

35. Как изменится вид дифракционной картины, если половину дифракционной решетки закрыть непрозрачной преградой?

а) не изменится;

б) спектральные линии станут более узкими;

в) расстояние между спектральными линиями увеличится;

г) правильного ответа нет.

36. Как изменится вид дифракционной картины, если щели дифракционной решетки перекрыть через одну?

а) не изменится;

б) спектральные линии станут более узкими;

в) расстояние между спектральными линиями увеличится;

г) правильного ответа нет.

37. Дифракционная решетка имеет 200 штрихов на 1 мм. Каков максимальный порядок спектра, который можно наблюдать целиком (все спектральные линии от красной до фиолетовой) с помощью этой решетки?

а) 12;

б) 13;

в) 6;

г) 7.

38. Имеются две дифракционные решетки с периодами $d_1 = 10^{-2}$ мм и $d_2 = 2 \cdot 10^{-2}$ мм и общим числом штрихов $N_1 = 1000$ и $N_2 = 2000$. Выберите правильное соотношение их разрешающих способностей и угловых дисперсий

$$R_1 > R_2$$

$$R_1 < R_2$$

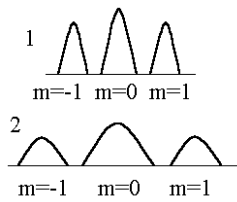
$$R_1 > R_2$$

$$R_1 < R_2$$

а) $D_1 > D_2$; б) $D_1 > D_2$;

в) $D_1 < D_2$;

г) $D_1 < D_2$.



39. На рис. в одинаковом масштабе изображены максимумы нулевого и первого порядков двух дифракционных решеток. Выберите правильное соотношение их разрешающих способностей и угловых дисперсий

- а) $D_1 > D_2$; б) $D_1 < D_2$; в) $D_1 > D_2$; г) $D_1 < D_2$;
- а) $R_1 > R_2$; б) $R_1 < R_2$; в) $R_1 > R_2$; г) $R_1 < R_2$;
- а) $R_1 < R_2$; б) $R_1 > R_2$; в) $R_1 < R_2$; г) $R_1 > R_2$;
- а) $D_1 < D_2$; б) $D_1 > D_2$; в) $D_1 < D_2$; г) $D_1 > D_2$;

40. Поляризованным называется свет, в котором колебания вектора напряженности электрического поля

- а) происходят в одной плоскости; б) происходят по окружности;
в) упорядочены каким-то образом; г) происходят по определенному закону.

41. Плоскополяризованным называется свет, в котором колебания вектора напряженности электрического поля

- а) происходят в одной плоскости; б) происходят по окружности;
в) упорядочены каким-то образом; г) происходят в одном направлении.

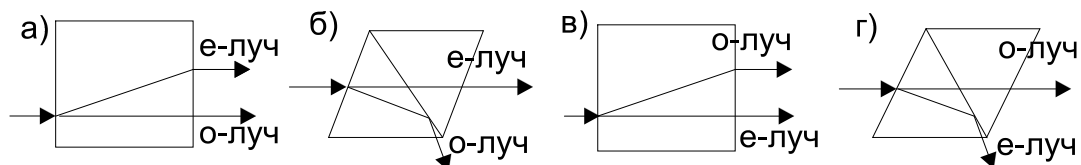
42. Степенью поляризации называется величина

- а) $P = \frac{I_{\max}}{I_{\max} + I_{\min}}$; б) $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$; в) $P = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$; г) $P = \frac{I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$

43. Какие из нижеприведенных утверждений вы считаете правильными

- а) поляризация света происходит при отражении-преломлении;
б) поляризация света происходит при двойном лучепреломлении;
в) поляризация света происходит при двойном лучепреломлении, причем поляризованным является только необыкновенный луч;
г) поляризация света происходит при прохождении его через поляроид.

44. Схема прохождения лучей в призме Николя изображена на рисунке



45. Сущность закона Малюса отражают следующие формулы

- а) $J = J_0 \cdot \cos \varphi$; б) $J_0 = J \cdot \cos^2 \varphi$; в) $E_0 = E \cdot \cos \varphi$; г) $E = E_0 \cdot \cos^2 \varphi$;

где J и E - интенсивность и напряженность электрического поля поляризованного света на входе поляризатора, J_0 и E_0 - интенсивность и напряженность электрического поля поляризованного света на выходе поляризатора.

46. От некоторого источника распространяется световой луч, который наблюдатель рассматривает через поляризатор. Вращая поляризатор наблюдатель видит, что яркость света меняется от некоторого минимального значения до максимального. Это означает, что свет от источника является

- а) естественным;
- б) поляризованным;
- в) частично поляризованным;
- г) естественным, но после прохождения поляризатора становится поляризованным

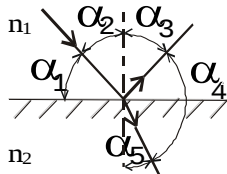
47. Анализатор в два раза уменьшает интенсивность света проходящего к нему от поляризатора. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора при этом равен

- а) $\pi/6$;
- б) $\pi/4$;
- в) $\pi/3$;
- г) $\pi/2$.

48. Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол 30° , если в каждом из николей в отдельности теряется 20 % интенсивности падающего на него света?

- а) ~ в 1,2 раза;
- б) ~ в 1,5 раза;
- в) ~ в 2 раза;
- г) ~ в 3 раза.

49. Какие из утверждений относительно углов, изображенных на рисунке вы считаете верными



- а) угол α_2 есть угол Брюстера, если угол $\alpha_4 = \pi/2$;
- б) угол α_3 есть угол отражения;
- в) угол α_4 есть угол преломления;
- г) угол α_3 равен $\pi/2$, если α_1 есть угол Брюстера.

50. Чему равен показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч будет полностью поляризован при угле преломления 30° ?

- а) 1,5;
- б) 1,42;
- в) 1,73;
- г) 1,66.

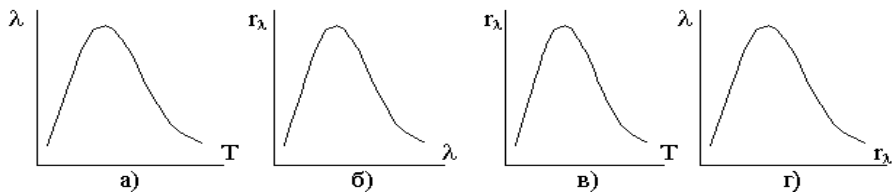
51. Угол Брюстера при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен 57° . Определить скорость света в этом кристалле.

а) $2,17 \cdot 10^2$ Мм/с; б) $1,94 \cdot 10^2$ Мм/с; в) $1,73 \cdot 10^2$ Мм/с; г) $1,42 \cdot 10^2$ Мм/с.

52. Предельный угол полного отражения пучка света на границе жидкость с воздухом равен 43° . Определить угол Брюстера для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

а) 43° ; б) 56° ; в) 60° ; г) 73° .

53. Испускательная способность является функцией длины волны и температуры. На каком графике кривая излучения черного тела изображена правильно?



54. Энергетическая светимость черного тела $R = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda$, где r_λ - испускательная способность, на графике (см.рис.) выражается



- а) длиной волны, на которую приходится максимум излучения;
- б) тангенсом угла наклона касательной к кривой излучения в любой ее точке;
- в) значением r_λ при $\lambda \rightarrow \infty$;
- г) площадью фигуры, ограниченной осью абсцисс и линией графика.

55. Поглощательная способность тела это -

- а) лучистый поток, падающий на поверхность тела в единицу времени;
- б) поток энергии, поглощенный поверхностью тела в единицу времени;
- в) отношение поглощенного потока к падающему;
- г) отношение падающего потока к площади поверхности тела.

56. Абсолютно черным телом называют тело, поглощательная способность которого

- а) для всех длин волн равна 0; б) для всех длин волн равна 1;
- в) для видимого света равна 0; г) для видимого света равна 1.

57. При равных температурах светимость серого тела

- а) больше светимости черного тела;
- б) меньше светимости черного тела;

в) равна светимости черного тела; г) меньше светимости белого тела.

58. При одинаковой яркости тел температура серого тела

а) ниже температуры черного тела; б) ниже температуры белого тела;

в) равна температуре черного тела. г) выше температуры черного тела.

59. Длина волны, на которую приходится максимум излучения черного тела, уменьшилась в 2 раза. Температура тела при этом

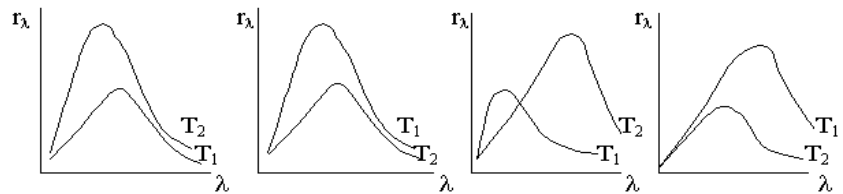
а) уменьшилась в 8 раз;

б) увеличилась в 8 раз;

в) увеличилась в 2 раза;

г) уменьшилась в 2 раза.

60. Распределение энергии в спектре черного тела при температурах $T_2 > T_1$ правильно изображено в) кривой



а)

б)

г)

61. При увеличении температуры тела от 1000 К до 2000 К, его энергетическая светимость возросла

а) в 2 раза; б) в 4 раза; в) в 8 раз; г) в 16 раз.

62. Черное тело нагрели от 500 К до 2000 К. Длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости

а) увеличилась в 4 раза;

б) уменьшилась в 4 раза;

в) не изменилась;

г) увеличилась в $\sqrt{2}$ раз.

63. Абсолютно черное тело и серое тело имеют одинаковую яркость. Температура какого тела при этом выше?

а) температура обоих тел одинакова;

б) температура абсолютно черного тела выше;

в) температура серого тела выше;

г) температура и яркость не связаны друг с другом.

64. Закон Кирхгофа

а) связывает излучательную способность с энергетической светимостью;

- б) позволяет определить излучательную способность абсолютно черного тела;
- в) связывает излучательные способности с поглощательными способностями тел;
- г) определяет излучательную способность черного тела как функцию длины волн и температуры.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается решить следующие задачи:

УК-1, ОПК 1

Типовые задания для практических занятий:

1. Свет падает на стекло с показателем преломления 1.72 под таким углом, что отражения света не происходит. Определить угол между преломленным лучом и направлением предельного преломления.
2. Естественный луч света падает на поверхность стеклянной пластинки, погруженной в жидкость. Показатель преломления стекла равен 1.5.
3. Отраженный от пластинки луч образует угол 97° с падающим лучом. Определить показатель преломления жидкости, если отраженный луч поляризован.
4. Один поляроид пропускает 30% света, если на него падает естественный свет. После прохождения света через 2 поляроида интенсивность падает до 9%. Найти угол между осями поляроидов.
5. Плоскополяризованный свет падает на николь так, что угол между плоскостями поляризации света и главного сечения николя равен 60° . Определить толщину николя, если интенсивность света уменьшилась в 6 раз. Коэффициент отражения на грани призм $\rho=0.1$, коэффициент поглощения $K=2 \text{ м}^{-1}$.
6. Пучок естественного света падает на систему из 4-х николей, плоскость пропускания каждого из которых повернута на угол 30° относительно плоскости пропускания каждого предыдущего николя. Какая часть энергии падающего пучка проходит через такую систему?
7. Естественный свет проходит через два николя. Каков угол между главными сечениями николей, если после удаления одного из них яркость выходящего пучка увеличилась вдвое? Потери энергии в каждом николе составляют 10%.

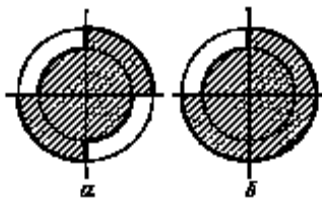
8. Для сравнения яркости освещения двух поверхностей одну из них рассматривают непосредственно, а вторую – через два николя. Каково отношение яркостей поверхностей, если освещение обеих поверхностей кажется одинаковым при угле между николями 70° ? Каждый николь поглощает 10% проходящей через него энергии.
9. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?
10. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, уменьшилась в 4 раза? Поглощением пренебречь.
11. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, уменьшится в 6 раз? Поглощение света в поляризаторе и анализаторе по 15%.
12. Угол между плоскостями поляризации двух поляроидов 35° . Как изменится интенсивность прошедшего через них света, если этот угол увеличить вдвое?
13. При падении естественного света на некоторый поляризатор проходит 30% светового потока, а через два таких поляризатора – 13.5%. Найти угол между плоскостями пропускания этих поляризаторов.
14. 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.
15. Степень поляризации P частично-поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной?
16. 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 $\alpha = 30^\circ$?
17. На николь падает пучок частично-поляризованного света. При некотором положении николя интенсивность света, прошедшего через него, стала

минимальной. Когда плоскость пропускания николя повернули на угол $\beta = 45^\circ$, интенсивность света возросла в $k = 1,5$ раза. Определить степень поляризации P света.

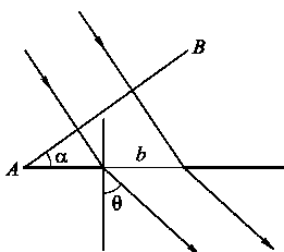
18. Ширина интерференционной полосы $\Delta x = 1$ мм. Расстояние от линии соединения зеркал Френеля до источника $r = 10$ см, до экрана $a = 1$ м. $\lambda = 4861$ А. Найти угол между зеркалами α .
19. В опыте Юнга расстояние d между щелями равно 0,8 мм. На каком расстоянии l от щелей следует расположить экран, чтобы ширина b интерференционной полосы оказалась равной 2 мм?
20. На мыльную пленку ($n = 1.33$) падает белый свет под углом 45° . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 600$ нм)?
21. Свет с длиной волны $\lambda = 6000$ А падает на тонкую мыльную пленку под углом φ . В отраженном свете на пленке наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними полосами равно Δx . Показатель преломления мыльной пленки n . Вычислить угол α между поверхностями пленки.
22. В очень тонкой клиновидной пластинке в отраженном свете при нормальном падении наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними темными полосами $\Delta x = 5$ мм. Зная, что длина световой волны равна $\lambda = 5800$ А, а показатель преломления пластинки $n = 1.5$, найти угол α между гранями пластинки.
23. Линза из крона ($n_k = 1.50$) лежит на пластинке, одна половина которой сделана из того же крона, а другая из флинта ($n_{фл} = 1.70$). Прослойка между линзой и пластинкой заполнена сероуглеродом ($n = 1.63$). Описать характер ньютоновых колец в отраженном и проходящем свете.
24. Кольца Ньютона получаются между двумя плосковыпуклыми линзами, прижатыми друг к другу своими выпуклыми поверхностями. Найти радиус m -го темного кольца, если длина световой волны равна λ , а радиусы кривизны выпуклых поверхностей линз равны R_1 и R_2 . Наблюдение ведется в отраженном свете.
25. В установке для наблюдения колец Ньютона плосковыпуклая линза сделана подвижной и может перемещаться в направлении, перпендикулярном к

пластинке. Описать, что будет происходить с кольцами Ньютона при удалении и приближении линзы.

26. Найти расстояние между двадцатым и двадцать первым светлыми кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и третьим равно 1 мм, а кольца наблюдаются в отраженном свете.
27. Зонная пластинка дает изображение источника, удаленного от нее на 3 м, на расстоянии 2 м от своей поверхности. Где получится изображение источника, если его отодвинуть в бесконечность?
28. Определить фокусное расстояние F зонной пластинки для света с длиной волны 5000 А, если радиус пятого кольца этой пластинки равен 1.5 мм; определить радиус первого кольца этой пластинки.
29. Какова будет интенсивность света I в фокусе зонной пластинки, если закрыть всю пластинку, за исключением верхней половины первой зоны? Интенсивность света без пластинки равна I_0 .
30. Диск из стекла с показателем преломления n (для длины волны λ) закрывает полторы зоны Френеля для точки наблюдения P . При какой толщине h диска освещенность в P будет наибольшая?



31. Между точечным монохроматическим источником света и точкой наблюдения перпендикулярно соединяющей их линии помещен экран, состоящий из секторов двух кругов (см. рисунок). Радиус одного из них равен радиусу 1-й зоны Френеля, другого - радиусу 2-й зоны Френеля. Определить интенсивность света в точке наблюдения, если в отсутствие экрана она равна I_0 .
32. Щель постоянной ширины прикрыта двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками толщины d с показателями преломления n_1 и n_2 , примыкающими друг к другу. Одна пластинка закрывает первую половину щели, другая — вторую половину щели. На щель нормально падает плоская монохроматическая волна. При каком условии центр дифракционной картины Фраунгофера будет темным?



Фраунгофера будет темным?

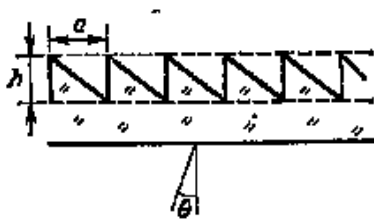
33. На щель ширины b положена стеклянная призма с показателем преломления n и преломляющим углом α (см.

рисунок). На грань АВ призмы нормально падает плоская монохроматическая волна. Найти направления на нулевой максимум и минимумы в дифракционной картине Фраунгофера.

34. Найти угловое распределение интенсивности света при фраунгоферовой дифракции на решетке из N щелей и с периодом d при условии, что световые лучи падают на решетку нормально, а ширина щели равна b .

35. Дифракционная решетка имеет 1000 штрихов. Сколько штрихов должна иметь решетка, чтобы угловая ширина главного максимума уменьшилась в два раза?

36. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки. Какова должна быть постоянная d дифракционной решетки, чтобы в направлении $\varphi = 41^\circ$ совпадали максимумы линий $\lambda_1 = 656.3$ нм и $\lambda_2 = 410.2$ нм?



37. Рассчитать и проанализировать дифракционную картину при нормальном падении света на пилообразную решетку (см. рисунок), сделанную из стекла с показателем преломления n . Число зубьев решетки равно N , $a \gg h$. Длина волны падающего света равна λ .

38. Подсчитать минимальное число штрихов решетки, которая может разрешить натриевый дублет ($\lambda_1 = 5890$ А, $\lambda_2 = 5896$ А) в спектре первого порядка.

39. О зоркости хищных птиц слагают легенды. Оцените, на основе дифракционных соображений, сможет ли орел, летающий над землей на высоте 1 км, разглядеть мышонка размером в 2 см, или он сможет только обнаружить его присутствие. Диаметр зрачка глаза орла не превышает нескольких миллиметров.

40. Каково должно быть фокусное расстояние f_2 окуляра микроскопа, чтобы была полностью использована разрешающая способность объектива? Числовая апертура объектива равна $n \sin \alpha$, фокусное расстояние объектива f_1 , длина тубуса (трубы микроскопа) L . Длину тубуса можно считать равной расстоянию между объективом и плоскостью первого изображения (т.е. изображения, даваемого объективом).

41. С помощью объектива телескопа с диаметром D и фокусным расстоянием f производится фотографирование удаленных объектов на мелкозернистой пластинке, помещенной в фокальной плоскости объектива. Полученное

изображение рассматривается в микроскоп с числовой апертурой $n \sin \alpha$ и увеличением N . Каким условиям должны удовлетворять числовая апертура и увеличение микроскопа, чтобы полностью использовать разрешающую способность объектива телескопа?

42. Пластина кварца толщиной в 1 мм, вырезанная перпендикулярно к оптической оси, помещена между параллельными николями. Для некоторой длины волны вращение плоскости поляризации равно 20° . При какой толщине кварца d свет данной длины волны будет полностью погашен?
43. Найти частоту собственных колебаний ν молекулы брома, дающей при комбинационном рассеянии линии $\lambda = 3131,6$ А спутник с длиной волны $\lambda = 3164,0$ А.
44. Найти отношение интенсивностей фиолетовых и красных спутников в комбинационном спектре рассеяния CCl_4 при температуре 27°C , если частоты нормальных колебаний CCl_4 равны 217, 315, 457 и 774 см^{-1} .
45. Лазер на рубине излучает в импульсе длительностью $\tau = 0,5$ мс энергию $E = 10$ Дж в виде почти параллельного светового пучка. Рабочая длина волны лазера $\lambda = 6943$ А, ширина линии $\Delta\lambda = 0,01$ А. Определить по спектральной плотности излучаемой энергии эффективную температуру $T_{\text{эф}}$ в лазерном пучке.

ОПК 2:

1. Определить угол полной поляризации, если свет падает из воды (показатель преломления 1.33) в стекло (1.6). Как поляризован падающий луч, если в этом случае отраженные лучи отсутствуют?
2. Определить скорость света в алмазе, если угол полной поляризации света при отражении от поверхности алмаза равен $67^\circ 30'$.
3. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторой жидкости равен 49° . Определить угол полной поляризации.
4. Луч света последовательно проходит через 2 николя, плоскости пропускания которых образуют угол 40° . Принимая, что коэффициент поглощения каждого николя равен 0.2, найти, во сколько раз луч, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с лучом, падающим на первый николь. Свет естественный.

5. Угол α между плоскостями пропускания поляроидов равен 60° . Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в 16 раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения света в поляроидах.
6. Выразить расстояние x от центра интерференционной картины до m -й светлой полосы в опыте с бипризмой Френеля. Показатель преломления призмы n , длина волны λ , преломляющий угол α . Интерферирующие лучи падают на экран приблизительно перпендикулярно. Расстояние от источника до бипризмы a , от бипризмы до экрана b .
7. От двух когерентных источников света получена система интерференционных полос на экране, удаленном от источников на расстояние $a = 2$ м. Во сколько раз изменится ширина интерференционных полос, если между источниками и экраном поместить собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 25$ см. Рассмотреть два случая: 1) расстояние линзы от источников равно $2F = 50$ см; 2) источники находятся в фокальной плоскости линзы.
8. Из линзы с фокусным расстоянием $F = 50$ см вырезана центральная часть ширины a . Обе половины линзы сдвинуты до соприкосновения. По одну сторону линзы помещен точечный источник монохроматического света ($\lambda = 6000$ Å). С противоположной стороны линзы помещен экран, на котором наблюдаются полосы интерференции. Расстояние между соседними светлыми полосами $\Delta x = 0.5$ мм и не изменяется при перемещении экрана вдоль оптической оси. Найти a .
9. Найти число полос интерференции N , получающихся с помощью бипризмы, если ее показатель преломления n , преломляющий угол α , длина волны источника λ . Расстояние источника света от бипризмы равно a , а расстояние бипризмы от экрана равно b .
10. Изменяется ли разрешающая способность и дисперсионная область дифракционной решетки, если, закрепив неподвижно трубу, в которую наблюдаются дифракционные спектры, закрыть через одну щели решетки?
11. Подсчитать разрешающую способность зрительной трубы с диаметром объектива 5 см. 2) При каком увеличении будет использована полная разрешающая способность этой трубы? Диаметр зрачка глаза $d = 5$ мм.

12. Исходя из ограничений, налагаемых дифракцией, вычислить максимальное расстояние l , на котором человеческий глаз может различить две светящиеся фары автомобиля. Расстояние между фарами 120 см. Длина волны света $\lambda = 550$ нм. Диаметр зрачка 5 мм.
13. Чему равна разность показателей преломления Δn для право- и левополяризованного по кругу света длины волны $\lambda = 5893$ А в кварце, если известно, что вращение плоскости поляризации в кварце для этой длины волны равно $21,7^\circ$ на 1 мм?
14. В области аномальной дисперсии $dv/d\lambda < 0$ (v — фазовая скорость, λ — длина волны в среде). В этой области возможен случай, когда групповая скорость $u = v - \lambda dv/d\lambda$ будет больше скорости света c в вакууме. Как согласовать это с выводом теории относительности о невозможности сигналов, распространяющихся со скоростью больше c ?

2. Промежуточная аттестация

Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:

ОПК 1

1. Как фазовая скорость распространения световой волны связана с групповой?
2. Объяснить чередование цвета в дисперсионном спектре, полученном с помощью призмы.
3. Объяснить влияние размера источника света на видность интерференционной картины.
4. Объяснить влияние степени немонахроматичности света на видность интерференционной картины.
5. Написать формулы для распределения интенсивности света при дифракции Фраунгофера на прямоугольной щели и амплитудной дифракционной решетке.
6. Перечислить факторы, влияющие на разрешающую способность дифракционной решетки.
7. Сформулировать основную идею, лежащую в основе метода голографии.
8. Общий принцип действия лазера.

9. Сформулировать основные положения электронной теории дисперсии света.

10. Сформулировать основные законы теплового излучения.

ОПК-1, ОПК 2:

1. Чем поляризованный свет отличается от естественного?

2. Как связаны между собой векторы напряженности электрического и магнитного полей в световой волне с вектором Умова-Пойнтинга?

3. Какие характеристики световой волны изменяются при переходе света из одной среды в другую?

4. Как получить эллиптически поляризованный свет?

5. Что такое когерентные волны? Почему интерференцию можно наблюдать только при постоянной разности фаз?

6. Можно ли наблюдать интерференционную картину от двух независимых источников света?

7. Как можно улучшить разрешающую способность дифракционной решетки, телескопа, микроскопа?

8. Можно ли с помощью одного поляроида отличить неполяризованный свет от света, поляризованного по кругу?

9. Как на основе законов рассеяния объяснить синеву неба и красный цвет зари?

10. Комбинационное рассеяние света и его практическое применение.

Задачи для проверки умений при освоении дисциплины.

УК 1

1. Вывести формулы Френеля для случая нормального падения света на границу раздела двух сред.

2. Получить формулу, связывающую плотность потока энергии и объемную плотность энергии световых волн.

3. Рассчитать интенсивность света, прошедшего из воздуха в стекло при нормальном падении на границу раздела относительно интенсивности падающего пучка.

4. Получить закон Брюстера из формул Френеля.

5. Рассчитать ширину интерференционной картины в любой интерференционной схеме, основанной на методе деления волнового фронта.

6. Получить формулу для интенсивности при многолучевой интерференции от N когерентных источников.
7. Применить метод зон Френеля для объяснения дифракции Френеля на круглом препятствии.
8. Вывести формулы для основных спектральных характеристик дифракционной решетки.
9. Вывести формулу для разрешающей способности микроскопа.
10. На основе расчета основных спектральных характеристик доказать преимущества эшелетта по сравнению с обычной амплитудной решеткой.

ОПК-1, ОПК 2:

1. Направления распространения двух плоских волн одной и той же длины λ составляют друг с другом малый угол φ . Волны падают на экран, плоскость которого приблизительно перпендикулярна к направлению их распространения. Написав уравнения обеих плоских волн и сложив поля этих волн, показать, что расстояние Δx между двумя соседними интерференционными полосами на экране определяется выражением $\Delta x = \lambda / \varphi$.
2. Оценить допустимую величину преломляющего угла бипризмы Френеля в интерференционной схеме по методу деления волнового фронта.
3. Перечислить и обосновать все способы превращения колец Ньютона в инверсные?
4. Вычислить радиус m -й зоны Френеля, если расстояние от источника до зонной пластинки равно a , а расстояние от пластинки до места наблюдения равно b . Длина волны λ . Вычислить радиус m -й зоны Френеля при условии, что на зонную пластинку падает плоская волна.
5. Как отличить частично-поляризованный свет от эллиптически-поляризованного света? Нарисовать и объяснить схему.
6. Сделать оценочный расчет, показывающий, что в оптическом микроскопе нельзя рассмотреть молекулы?
7. Оценить разрешающую способность человеческого глаза.
8. Описать основной принцип действия интерференционных светофильтров.

9. Как отличить пластинку кварца, вырезанную перпендикулярно к оси, от пластинки кварца, вырезанной параллельно оси, имея в своем распоряжении два николя и источник белого света?

10. Определить температуру T Солнца, принимая его за абсолютно черное тело, если известно, что максимум интенсивности спектра Солнца лежит в зеленой области ($\lambda = 500$ нм).

Требования к рейтинг-контролю. В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,
- 2) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов:
 1. Сформулировать основные законы геометрической оптики.
 2. В чем заключается явление полного внутреннего отражения?
 3. Записать систему уравнений Максвелла.
 4. Написать основные соотношения между векторами напряженностей плоской электромагнитной волны и волновым вектором.
 5. Написать уравнение плоской монохроматической волны, которая распространяется в направлении, определяемом волновым вектором.
 6. Какова связь между абсолютными значениями векторов напряженностей электрического и магнитного полей в плоской волне.
 7. Какой физический смысл показателя преломления среды? Как он связан с диэлектрической и магнитной проницаемостями?
 8. Написать граничные условия для тангенциальных составляющих векторов напряженностей электрического и магнитного полей.
 9. Получить амплитудные соотношения при нормальном падении электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектриков.
 10. Написать выражение для вектора Умова-Пойнтинга и пояснить его физический смысл.
 11. Дать определение интенсивности света. Как интенсивность связана с амплитудой волны?
 12. Как связаны между собой фазовая и групповая скорости? Пояснить смысл введения групповой скорости.

13. Написать формулы Френеля для амплитуд отраженного света.
14. Проанализировать фазовые соотношения для отраженного и преломленного света на основе формул Френеля.
15. Дать определения коэффициентов отражения и пропускания света. Получить их выражения для случая нормального падения электромагнитной волны на границу раздела двух диэлектриков.
16. Что такое когерентность волн?
17. В чем заключается явление интерференции световых лучей?
18. Что такое время когерентности? Как длина когерентности связана со временем когерентности?
19. Что такое оптическая длина пути?
20. Какому условию должна удовлетворять разность хода между интерферирующими лучами для наблюдения в заданной точке максимума (минимума) интенсивности?
21. Опишите схемы для реализации интерференции в оптике.
22. В каком случае в результате интерференции на экране образуются полосы, а в какой кольца?
23. Что такое полосы равной толщины и равного наклона?
24. Почему центр колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете, темный?
25. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
26. Что называется дифракцией Френеля и дифракцией Фраунгофера?
27. Какова интенсивность света I в фокусе зонной пластинки, если закрыты все зоны, кроме первой? Интенсивность света без пластинки равна I_0 .
28. Получить уравнение дифракционной решетки.
29. Как изменится дифракционная картина от дифракционной решетки, если ее щели перекрыть через одну?
30. Что такое фазовая и амплитудная дифракционные решетки?
31. Что такое синусоидальная дифракционная решетка?
32. Что такое разрешающая способность оптических приборов?
33. Сформулировать критерий Рэлея для разрешающей способности дифракционной решетки.
34. Оценить разрешающую способность человеческого глаза.
35. Как улучшить разрешающую способность микроскопа?

36. Назвать основные характеристики спектральных приборов.
37. Как отличить свет с круговой поляризацией от неполяризованного света?
38. Как отличить частично-поляризованный свет, от света с эллиптической поляризацией?
39. Что такое фазовые пластинки $\lambda/2$ и $\lambda/4$?
40. В чем экспериментальная трудность изучения аномальной дисперсии?
41. Что такое оптическая активность?
42. Каким образом угол поворота плоскости поляризации в эффекте Фарадея зависит от величины внешнего магнитного поля?
43. Может показатель преломления быть меньше единицы?
44. Как связаны между собой поглощательная и излучательная способности тела?
45. Получить формулу смещения Вина из формулы Планка.