

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей и теоретической физики

ОПТИКА

Учебно-методический комплекс
для студентов специализации «Физика»

Издательство «Самарский университет»
1999

*Печатается по решению Редакционно-издательского совета
Самарского государственного университета*

Данный комплекс представляет полную программу университетского курса общей физики по оптике. Программа включает лекционный курс, семинарские занятия и примерный список лабораторных работ. Планы проведения семинарских занятий дополнены необходимыми задачами, большая часть которых сопровождается подробными решениями.

Пособие предназначено для студентов 2-го курса физического факультета университета, а также может быть использовано преподавателями курса оптики на любом факультете.

Составитель канд. физ.-мат. наук Г.П.Мартынова

Рецензент канд. физ.-мат. наук С.П.Котова

Предисловие

За последние несколько десятилетий наблюдается бурное развитие физики, в связи с чем высшая школа во всем мире оказалась перед проблемой новой организации преподавания физики, в частности тех ее разделов, которые изучаются на младших курсах. Решение данной проблемы затруднено целым рядом объективных и субъективных факторов. Наибольшая сложность состоит в наличии огромного информационного материала, в необходимости такого его отбора для преподавания, который обеспечил бы в заданное и относительно короткое время достаточно широкую, глубокую и гармоничную в целом подготовку по общему курсу физики. Дополнительную трудность представляет традиционно существующий разрыв между значением современной физики и уровнем подготовки по ней. В связи с этим понятна актуальность поисков наилучших путей преподавания физики в университете. Эти поиски касаются в первую очередь разработок учебных программ, планов и учебных пособий.

Предлагаемый комплекс представляет собой попытку решить задачу разработки программы изучения оптики – одного из разделов университетского курса общей физики. Оптика является ярким примером быстро развивающейся современной научной и технической отрасли. За последние тридцать лет произошло стремительное развитие как самой науки, так и огромной сети ее приложений. Начало этому было положено работами, приведшими к созданию квантовых генераторов излучения. Наряду с работами по лазерам, произведены существенно новые исследования в таких разделах оптики, как рассеяние света, голография, оптические системы, нелинейная оптика и др. Разумеется, фундаментальные основы науки не претерпели существенных изменений. Но в ряде случаев они были прояснены и значительно обогащены новыми знаниями. Поэтому современная программа университетского курса оптики должна обязательно отражать в себе современные научные достижения.

Программа оптики в настоящем комплексе состоит из вопросов лекционного курса, тем семинарских занятий и списка лабораторных работ. В дополнение к перечню семинарских занятий представлены наиболее характерные задачи курса. Для всех задач приведены ответы, а для наиболее интересных – подробные решения. Выбор задач продиктован необходимостью сориентировать преподавателей и студентов в существующем огромном количестве специальной литературы. Сделана попытка четко обозначить необходимый минимум задач, в результате знакомства с которыми студенты могли бы освоить принципиальный подход к познанию достаточно широкого класса оптических явлений.

Программа лекционного курса

1. Электромагнитная природа света

Историческое введение. Развитие представлений о природе света. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны. Модель плоской волны. Общий вид волнового уравнения и его решение. Сферические волны. Монохроматические волны. Амплитуда, фаза, длина волны, волновое число, волновой вектор. Фазовая скорость волны. Представление плоских гармонических волн в комплексной форме.

Электромагнитные световые волны. Свойство поперечности и ортогональность плоских волн в однородных изотропных средах. Энергия и интенсивность световых волн. Суперпозиция волн. Стоячие волны: опыт Винера. Поляризация световых волн (эллиптическая, линейная, круговая).

2. Прохождение света через плоскую границу прозрачных однородных диэлектриков

Граничные условия Максвелла. Соотношение частот падающей, отраженной и преломленной волн. Законы отражения и преломления света. Модель естественного света. Теорема о разложении плоской гармонической волны на две поляризованные. Соотношение амплитуд: формулы Френеля. Нормальное и скользящее падение света. Явление Брюстера. Фазовые соотношения.

3. Интерференция света

Явление интерференции. Понятие о когерентности колебаний. Степень когерентности. Функция корреляции. Время и длина когерентности. Принципиальная схема двухлучевой интерференции. Фундаментальная формула двухлучевой интерференции. Условия максимума и минимума интенсивности. Геометрическая и оптическая разности хода. Основные характеристики интерференционных схем. Интерференционные полосы и кольца. Параметр видности интерференционной картины. Связь видности со степенью когерентности. Квазимонохроматический свет. Интеграл Фурье и спектр волновой функции. Ширина спектральной линии.

Проблема получения когерентных волн в оптике. Метод деления волнового фронта. Схема Юнга, бисеркало Френеля, бипризма Френеля, билинза Бийе, зеркало Ллойда. Задача об источнике конечного размера.

Метод деления амплитуды. Кольца равного наклона и полосы равной толщины. Кольца Ньютона. Двухлучевые интерферометры: Майкельсона, Жамена, Рождественского. Современные интерферометры.

Многолучевая интерференция. Вычисление результирующей интенсивности в проходящем (или отраженном) свете. Формулы Эйри и графики функции Эйри. Интерферометр Фабри - Перо и его практическое применение. Ширина линии, параметр резкости, разрешающая способность и дисперсия интерферометра Фабри - Перо. Современные интерферометрические световые фильтры.

4. Дифракция света

Принцип Гюйгенса - Френеля. Метод зон Френеля. Задача о прямолинейном распространении света. Дифракция на круглом отверстии и круглом диске. Зонная пластинка. Метод графического вычисления амплитуды.

Дифракция в параллельных лучах. Вычисление результирующей амплитуды при дифракции от щели. Влияние ширины щели на дифракционную картину. Дифракционная решетка. Распределение интенсивности. максимумы и минимумы интенсивности при дифракции на плоской амплитудной решетке. Дифракционная решетка как элемент спектрального прибора. Разрешающая способность и дисперсия. Критерий Рэлея. Понятие о фазовых решетках.

Современный спектральный анализ. Представление о голографии.

5. Элементы кристаллооптики

Распространение света в анизотропных средах. Тензор диэлектрической проницаемости. Двойное лучепреломление и поляризация. Фазовая и лучевая скорости. Уравнение нормалей Френеля и его анализ. Геометрическая интерпретация свойств анизотропных сред: модель эллипсоида диэлектрических проницаемостей. Двuosные и одноосные кристаллы.

Получение и анализ поляризованного света. Пластинка в четверть волны и полуволновая пластинка. Современные поляризационные приспособления. Компенсаторы.

6. Дисперсия света

Явление дисперсии. Понятие о волновом пакете. Фазовая и групповая скорости. Нормальная и аномальная дисперсия. Дисперсионное соотношение Рэлея. Элементы электронной теории дисперсии. Уравнение дисперсии. Поглощение света. Явления нелинейной оптики. Самофокусировка.

Библиографический список

Основной

1. Матвеев А.Н. *Оптика*. М.: Высшая школа, 1985.
2. Ландсберг Г.С. *Оптика*. М.: Наука, 1976.

Дополнительный

1. Калитеевский Н.И. *Волновая оптика*. М.: Наука. 1971.
2. Борн М., Вольф Э. *Основы оптики*. М.: Наука, 1973.

Семинарские занятия

Геометрическая оптика

- Занятие 1. Отражение и преломление света.
Занятие 2. Преломление света на сферической поверхности.
Занятия 3,4. Центрированные системы.

Волновая оптика

- Занятия 5,6. Отражение и преломление света на границе раздела прозрачных диэлектриков. Формулы Френеля.
Занятие 7,8. Когерентность и интерференция.
Занятия 9,10. Двухлучевая интерференция, осуществляемая делением волнового фронта.
Занятия 11,12,13. Локализация полос интерференции.
Занятия 14,15. Дифракция Френеля.
Занятия 16,17. Дифракция в параллельных лучах.
Занятия 18,19. Разложение излучения в спектр.

Взаимодействие света с веществом

- Занятия 20,21. Дисперсия света.

Библиографический список

Основной

1. Ландсберг Г.С. *Оптика*. М.: Наука, 1976.
2. Иродов И.В. *Задачи по общей физике*. М.: Наука, 1988.

Дополнительный

1. Ильичева Е.Р., Кудеяров Ю.А., Матвеев А.Н. *Методика решения задач оптики* / Под ред. А.Н.Матвеева. М.: Изд-во Моск.ун-та. 1981.
2. Сборник задач по общему курсу физики. *Оптика* / Под ред. Д.В.Сивухина. М.: Наука, 1977.

Лабораторный практикум

1. Определение фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз.
2. Изучение микрообъектов при помощи микроскопа.
3. Определение показателя преломления вещества при помощи микроскопа.
4. Изучение законов фотометрии.
5. Определение длины световой волны при помощи бипризмы Френеля.
6. Определение радиуса кривизны линзы и длины волны света с помощью колец Ньютона.
7. Дифракция Фраунгофера.
8. Дифракция Френеля.
9. Поляризация света.
10. Интерференционные светофильтры.
11. Определение удельного вращения и неизвестной концентрации сахарного раствора при помощи сахариметра СМ-3 (или СУ-3).
12. Определение показателя преломления и средней дисперсии жидкости с помощью рефрактометра ИРФ-22 (или РДУ).
13. Определение неизвестной концентрации окрашенного раствора при помощи прибора КФО (или калориметра Ланге).
14. Определение коэффициентов пропускания, отражения и снятие спектральной характеристики прозрачных образцов при помощи фотометра отражения ФО-1.
15. Изучение явления фотоэффекта.

Библиографический список

1. Физический практикум / Под ред. проф. В.И.Ивероновой. М.: Физматгиз, 1967.
2. Методические разработки лабораторных работ. (Выдаются в учебных лабораториях и библиотеке СамГУ).

Темы для самостоятельного изучения (форма отчетности – предоставление конспекта)

1. *Кольца Ньютона*. (Ландсберг Г.С. *Оптика*. М.: Наука, 1976. С.125-127,239.)
2. *Дифракция на круглом отверстии и круглом диске* (Ландсберг Г.С. *Оптика*. М.: Наука, 1976. С.160-163).
3. *Построение Гюйгенса для анизотропных сред* (Ландсберг Г.С. *Оптика*. М.: Наука, 1976. С.509-512).

Формы текущего контроля

1. Коллоквиумы (2-3 раза в течение семестра на лекционных занятиях).
2. Контрольные работы (на семинарских занятиях после изученной темы).

Программа составлена на основании учебной программы по общей физике для студентов специальности 2016 Госкомитета РФ по высшему образованию.

Загачу

Геометрическая оптика

1. На дно сосуда, наполненного водой до высоты $h = 10$ см. помещен точечный источник света. На поверхности воды плавает круглая непрозрачная пластинка так, что ее центр находится над источником света. Какой наименьший радиус r должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды?

2. Монохроматический луч падает на боковую поверхность прямоугольной равнобедренной призмы. Войдя в призму, луч претерпевает полное внутреннее отражение от основания призмы и выходит через вторую боковую поверхность призмы. Каким должен быть наименьший угол падения луча на призму, чтобы еще происходило полное внутреннее отражение? Показатель преломления материала призмы для этого луча $n = 1,5$.

3. Водолаз высотой h стоит на дне озера на глубине H . Вычислить минимальное расстояние от точки, где стоит водолаз, до тех точек дна, которые он может увидеть в результате полного внутреннего отражения от поверхности воды.

4. Показать, что при преломлении в призме с малым преломляющим углом α луч отклоняется на угол $\beta = \alpha (n - 1)$ независимо от угла падения, если последний также мал.

5. С одной стороны двояковыпуклой тонкой линзы, сделанной из стекла ($n = 1,52$), находится вода ($n_1 = 1,33$), с другой - воздух. Радиусы кривизны обеих поверхностей равны 20 см. Найти положения фокальных плоскостей системы.

6. Система состоит из собирающей тонкой симметричной стеклянной линзы с радиусом кривизны поверхностей $R = 38$ см и плоского зеркала, расположенного перпендикулярно к оптической оси линзы. Расстояние между линзой и зеркалом $l = 12$ см. Какова будет оптическая сила этой системы, если пространство между линзой и зеркалом заполнить водой?

7. Найти положение главных плоскостей, фокусное расстояние и знак оптической силы выпукло-вогнутой толстой стеклянной линзы, у которой преломляющие поверхности - концентрические с радиусами кривизны R_1 и R_2 ($R_2 > R_1$).

8. В каком случае двояковыпуклая линза, изготовленная из вещества с показателем преломления, большим показателя преломления окружающей среды, будет действовать как плоскопараллельная пластинка?

Поляризация света при отражении и преломлении (формулы Френеля)

9. На поверхность воды под углом Брюстера падает пучок плоскополяризованного света. Плоскость колебаний составляет угол φ с плоскостью падения. Найти коэффициент отражения.

10. На боковую грань призмы, изготовленной из стекла с показателем преломления n , падает под углом Брюстера световой пучок. Электрический вектор которого лежит в плоскости падения. Каким должен быть преломляющий угол призмы, чтобы свет прошел через нее, не испытав потерь на отражение?

11. Определить коэффициент отражения естественного света, падающего на стекло ($n = 1,54$) под углом полной поляризации. Найти степень поляризации лучей, прошедших в стекло. Поглощением света пренебречь.

12. Определить с помощью формул Френеля:

а) коэффициент отражения естественного света при нормальном падении на поверхность стекла;

б) относительную потерю светового потока за счет отражений при прохождении параксиального пучка естественного света через центрированную оптическую систему из пяти стеклянных линз (вторичными отражениями света пренебречь).

Интерференция света

13. В опыте Ллойда (рис.1) световая волна, исходящая непосредственно из источника S (узкой щели), интерферирует с волной, отраженной от зеркала Z . В результате на экране \mathcal{E} образуется система интерференционных полос. Расстояние от источника до экрана $D = 100$ см. При некотором положении источника ширина интерференционной полосы на экране $B = 0,25$ мм, а после того как источник отодвинули от плоскости зеркала на $h = 0,60$ мм, ширина полос уменьшилась в $\approx 1,5$ раза. Найти длину волны света.

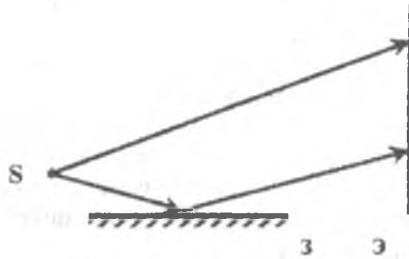


Рис.1

14. На рис.2 показана схема интерферометра, служащего для измерения показателей преломления прозрачных веществ. Здесь S - узкая щель, освещаемая монохроматическим светом $\lambda = 589 \text{ нм}$, 1 и 2 - две одинаковые трубки с воздухом, длина каждой из которых $l = 10,0 \text{ см}$, Д - диафрагма с двумя щелями. Когда воздух в трубке 1 заменили аммиаком, то интерференционная картина на экране Э сместилась вверх на $N=17$ полос. Показатель преломления воздуха $n = 1,000277$. Определить показатель преломления аммиака.

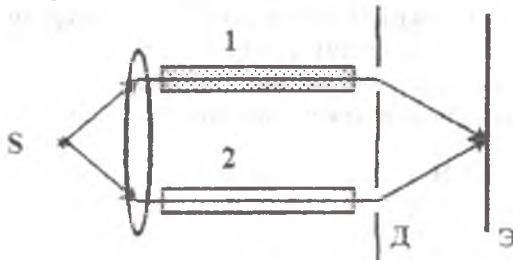


Рис.2

15. Найти распределение интенсивности $J(x)$ на экране в установке с зеркалами Френеля (рис.3):

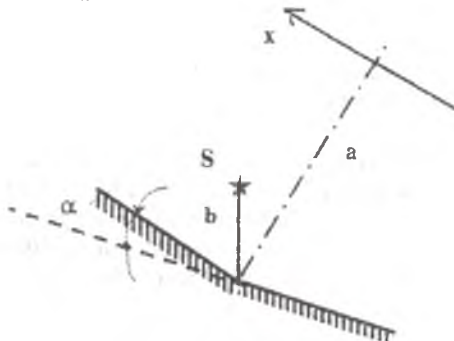


Рис.3

16. Плоская волна проходит через стеклянную пластинку с показателем преломления n , падая на ее поверхность нормально (рис.4). Толщина пластинки испытывает скачкообразное изменение на величину d порядка световой волны вдоль некоторой прямой, проходящей через точку A перпендикулярно к плоскости рисунка. Прошедшая волна собирается линзой в ее фокусе. При каких значениях d интенсивность света в фокусе будет вдвое меньше интенсивности света в том же фокусе в случае отсутствия уступа на пластинке?

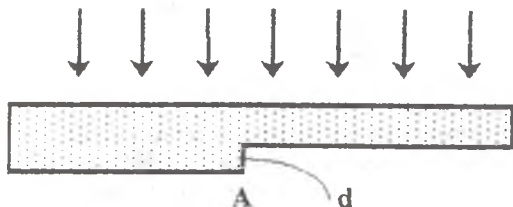


Рис.4

17. 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 $\lambda = 580$ нм, а показатель преломления пластинки $n = 1,5$, найти угол α между гранями пластинки.

18. Кольца Ньютона получаются с помощью плоско-выпуклой линзы с радиусом кривизны R_1 , положенной на вогнутую сферическую поверхность с радиусом кривизны R_2 . Кольца наблюдаются в отраженном свете. Определить радиус m -го темного кольца, если длина световой волны равна λ .

19. Плоско-выпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны $R = 40$ см соприкасается выпуклой поверхностью со стеклянной пластинкой. При этом в отраженном свете радиус некоторого кольца $r = 2,5$ мм. Наблюдая за данным кольцом, линзу осторожно отодвинули от пластинки на $h = 5,0$ мкм. Каким стал радиус этого кольца?

20. Сферическая поверхность плоско-выпуклой линзы соприкасается со стеклянной пластинкой. Пространство между линзой и пластинкой заполнено сероуглеродом. Показатели преломления линзы, сероуглерода и пластинки равны соответственно $n_1 = 1,50$, $n_2 = 1,63$ и $n_3 = 1,70$. Радиус кривизны сферической поверхности линзы $R = 100$ см. Определить радиус *пятого* темного кольца Ньютона в отраженном свете с $\lambda = 0,50$ мкм.

Дифракция света

21. Зоны Френеля строятся со стороны вогнутой поверхности *сходящейся* сферической волны радиуса a . Расстояние от поверхности волны до точки наблюдения равно b . Найти выражение для радиуса m -й зоны Френеля.

22. В точке А (рис.5) находится точечный источник монохроматического света ($\lambda = 510$ нм). Диафрагма Д с отверстием радиусом 1 мм перемещается из точки, отстоящей от А на 50 см, в точку, отстоящую от А на 150 см. Сколько раз будет наблюдаться затемнение в точке В, если АВ = 2 м?



Рис.5

23. Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус которого r можно менять. Расстояния от диафрагмы до источника и экрана равны $a = 100$ см и $b = 125$ см. Определить длину волны света, если максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается при $r_1 = 1,00$ мм и следующий максимум при $r_2 = 1,29$ мм.

24. На пути плоской световой волны с $\lambda = 0,54$ мкм поставили тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием $f = 50$ см, непосредственно за ней - диафрагму с круглым отверстием и на расстоянии $b = 75$ см от диафрагмы - экран. При каких радиусах отверстия центр на экране имеет максимальную освещенность?

25. Показать, что для дифракционной решетки с периодом $d = 2b$ (b - ширина щели) все четные максимумы пропадают.

26. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 410 нм падает нормально на щель шириной 20 мкм. За щелью помещена линза с фокусным расстоянием 50 см, с помощью которой можно наблюдать дифракционные полосы на экране. Определить расстояние между светлыми полосами *первого* и *второго* порядков.

27. Свет от ртутной лампы падает нормально на плоскую дифракционную решетку, ширина которой 5 см. Общее число штрихов решетки 10 000. Определить угол между фиолетовыми ($\lambda = 0,405$ мкм) и желтыми ($\lambda = 0,577$ мкм) лучами в спектре *первого* порядка.

28. Плоская амплитудная решетка с отношением $b/d = 0,1$ освещается нормально падающей плоской волной λ . Найти соотношение интенсивностей в максимумах 1-го и 6-го порядков, полученных с помощью этой решетки.

29. Найти угловую дисперсию в спектре *первого* порядка для решетки, имеющей 3937 штрихов на 1 см. Подсчитать линейную дисперсию спектрографа с такой решеткой при объективе с фокусным расстоянием $f = 50$ см.

30. Показать, что при нормальном падении света на дифракционную решетку максимальная величина ее разрешающей способности не может превышать значения L/λ , где L - ширина решетки, λ - длина волны света.

31. Свет, содержащий две спектральные линии с длинами волн λ_1 и λ_2 падает нормально на дифракционную решетку ширины L . Под некоторым углом дифракции φ эти линии оказались на пределе разрешения (по критерию Рэлея). Найти угол φ .

32. Свет падает нормально на дифракционную решетку ширины $L = 6,5$ см, имеющую 200 штрихов на миллиметр. Исследуемый спектр содержит спектральную линию с $\lambda = 670,8$ нм, которая состоит из двух компонент, отличающихся на $\Delta\lambda = 0,015$ нм. Найти порядок спектра, в котором эти компоненты будут разрешены.

Дисперсия света

33. Световой импульс представляет собой суперпозицию двух гармонических волн. частоты и волновые числа которых отличаются друг от друга на бесконечно малые величины. Найти групповую скорость u , этого импульса.

34. Исходя из определения групповой скорости u , получить соотношение, связывающее эту скорость с фазовой скоростью v (*дисперсионное соотношение Рэлея*).

35. Найти зависимость между групповой u и фазовой v скоростями для законов дисперсии:

а) $v \sim k$;

б) $v \sim 1/\omega^2$;

в) $v \sim a/\sqrt{\lambda}$.

здесь λ , k и ω - длина волны, волновое число и круговая частота.

36. В некоторой среде связь между групповой и фазовой скоростями электромагнитной волны имеет вид $uv = c$, где c - скорость света в вакууме. Найти зависимость диэлектрической проницаемости этой среды от частоты волны, т. е. $\epsilon(\omega)$.

Ответы и указания к решениям

Геометрическая оптика

1. $r = 0,114\text{м}$.

2. **Решение**. Наименьшему углу падения φ луча на призму соответствует предельный угол падения $\psi_{\text{пр}}$ луча на основание призмы (рис.6):

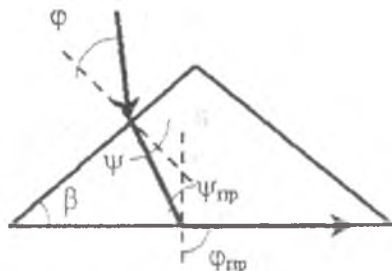


Рис.6

Применим закон преломления дважды:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = n, \quad \frac{\sin \varphi_{\text{пр}}}{\sin \psi_{\text{пр}}} = n,$$

откуда следует $\psi_{\text{пр}} = \arcsin \frac{1}{n}$

и $\varphi = \arcsin [n \sin(\beta - \arcsin(1/n))] = 42,7^\circ$, где $\beta = \pi/4$.

3. $L_{\text{min}} = \frac{2H - h}{\sqrt{n^2 - 1}}$, где n - показатель преломления воды.

4. **Указание**. Сделать обычный рисунок для прохождения луча через призму, а затем использовать условие малости углов.

5. **Решение**. Применим инвариант Аббе последовательно к каждой преломляющей поверхности. Для перехода света из воды в стекло:

$$\frac{n_1}{a_1} - \frac{n}{a} = \frac{n_1 - n}{R}$$

где a_1 - положение предмета в воде, a - положение некоего гипотетического изображения в стекле. Для второй преломляющей поверхности (для перехода из *стекла* в *воздух*):

$$\frac{n}{a} - \frac{1}{a_2} = \frac{n-1}{-R},$$

где a становится положением "предмета" в стекле, a_2 - положение изображения в воздухе. Сложив почленно эти два уравнения, имеем

$$\frac{n_1}{a_1} - \frac{1}{a_2} = \frac{n_1 - n}{R} - \frac{n-1}{R},$$

откуда $a_2 \equiv f_2 = \frac{R}{2n - n_1 - 1} = 28,17 \text{ см.}$

$$a_1 \equiv f_1 = \frac{Rn_1}{n_1 - 2n + 1} = -37,50 \text{ см.}$$

6. *Указание*. Отобразить тонкую линзу в плоском зеркале и применить для такой системы формулу толстой линзы:

$$D = D_1 + D_2 - \frac{1}{n} D_1 D_2,$$

где D_1 и D_2 - оптические силы поверхностей. В данном случае они совпадают и представляют собой оптическую силу тонкой линзы. l - толщина толстой линзы, n - показатель преломления воды.

Ответ: $D = \frac{2(2n - n_0 - 1)}{R} - \frac{2l(2n - n_0 - 1)^2}{R^2 n_0},$

где n_0 - показатель преломления стекла.

$$7. \quad D = \frac{\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)(n-1)}{n} < 0,$$

обе главные плоскости проходят через общий центр кривизны поверхностей линзы.

8. Когда толщина линзы $d = \frac{n}{n-1}(R_1 + R_2)$, где R_1 и R_2 - абсолютные значения радиусов кривизны поверхностей линзы.

*Поляризация света при отражении и преломлении
(формулы Френеля)*

9. *Указание*. Плоскополяризованную падающую волну разложить на две по отношению к плоскости падения и применить формулу Френеля для амплитудного коэффициента отражения в случае падения света под углом Брюстера.

$$\text{Ответ: } r = \left[\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right]^2 \sin^2 \varphi,$$

где n - показатель преломления воды.

10. *Указание*. Из условия следует, что свет входит в призму, не испытав потерь на отражение. То же самое должно произойти при выходе света из призмы. Следовательно, световой пучок проходит через призму параллельно ее основанию. Такая симметрия приводит к решению:

$$\alpha = \pi - 2\varphi_{\text{Б}},$$

где $\varphi_{\text{Б}} = \arctg n$.

11. *Решение*. По определению коэффициент отражения =

$$r = \frac{J_{\text{отр}}}{J_{\text{п}}}$$

Используя теорему о разложении естественного света на две плоскополяризованные волны и условие Брюстера, имеем:

$$r = \frac{J_{\perp}^{\text{отр}}}{2J_{\perp}^{\text{п}}} = \frac{1}{2} \left[\frac{E_{\perp}^{\text{отр}}}{E_{\perp}^{\text{п}}} \right]^2 = \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{2\sin^2(\varphi + \psi)}$$

где $\varphi = \varphi_{\text{Б}} = \arctg n \cong 57^\circ$ для стекла, а $\psi \cong 90^\circ - 57^\circ \cong 33^\circ$. Подставляя данные значения углов, получаем, что отражается от поверхности стекла приблизительно 8,3% светового потока.

Для нахождения степени поляризации преломленных лучей Δ используем формулу

$$\Delta_{\text{пр}} = \frac{J_{\perp}^{\text{пр}} - J_{\parallel}^{\text{пр}}}{J_{\perp}^{\text{пр}} + J_{\parallel}^{\text{пр}}}$$

Здесь

$$J_{\parallel}^{\text{пр}} \cong 50\%, J_{\perp}^{\text{пр}} \cong 41,7\%$$

Ответ: $r \approx 0,083 \approx 8,3\%$: прошедший свет поляризован примерно на 9%.

$$12. r = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} = 0,04\% = 4\%; \Delta\Phi/\Phi = 1 - (1-r)^{2N} = 0,34.$$

где $N=5$ - число линз.

Интерференция света

13. **У к а з а н и е** . Использовать стандартную формулу для ширины интерференционной полосы $\mathbf{B} = \lambda D / 2l$, где l – расстояние от источника до зеркала. После того как источник отодвинули от плоскости зеркала, расстояние от источника до зеркала стало равным $l + h$.

Ответ: $\lambda = 2Bh / D(n-1) = 0,6 \text{ мкм}$.

14. $n = n + N\lambda l = 1,000377$.

15. $J = 4J_0 \cos^2 \left[\frac{2\pi b \alpha x}{\lambda(a+b)} \right]$, где λ - длина волны света.

16. **У к а з а н и е** . Поскольку линза обладает свойством *таутохронизма*, приходящие в ее фокус волны приобретают разность хода только за счет скачка толщины d . Используя фундаментальную формулу двухлучевой интерференции и сравнивая интенсивности для двух случаев (с уступом и без него), получаем

$$d = \frac{\lambda \left(m + \frac{1}{2} \right)}{2(n-1)} \text{ , где } m = 0, 1, 2, \dots$$

17. **Р е ш е н и е** . На поверхности тонкой клиновидной пластинки (рис.7) две соседние интерференционные полосы разделены промежутком Δx . Условия возникновения двух соседних интерференционных полос:

$$2 h_1 n \cos \psi + \lambda/2 = m \lambda ,$$

$$2 h_2 n \cos \psi + \lambda/2 = (m + 1) \lambda .$$

где h_1 и h_2 - толщины клиновидной пластинки в местах наблюдения полос, ψ - угол преломления. Из этих формул находим разность высот $h_2 - h_1$. Используя геометрию схемы и учитывая, что падение света нормальное, получаем:

$$\text{tg } \alpha \approx \alpha \approx \lambda/2n \cdot \Delta x \approx 8''.$$

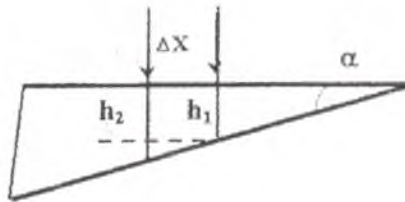


Рис.7

$$18. r_m = \frac{m\lambda}{\left| \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right|}$$

19. **Решение.** В данной задаче удобно использовать два разных рисунка (рис.8 и рис.9):

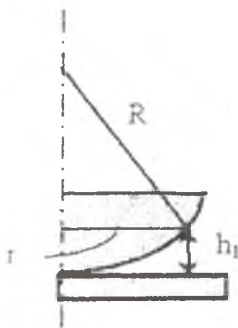


Рис.8

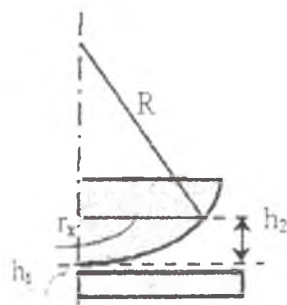


Рис.9

В случае соприкосновения линзы с пластинкой (рис.8) выполняется стандартное геометрическое соотношение

$$r^2 \cong 2Rh_1$$

Когда линза отодвинута от пластинки (рис.9), выполняется аналогичное соотношение

$$r_x^2 \cong 2Rh_2$$

В обоих случаях разность хода лучей определяется только номером кольца и для данного кольца одинакова:

$$\Delta = 2h_1 + \lambda/2,$$

$$\Delta = 2(h_2 + h) + \lambda/2.$$

т. е. $h_1 = h + h_2$. Решая совместно эти уравнения, находим

$$r_x = \sqrt{r^2 - 2Rh}.$$

20. *Указание*. Применить стандартный способ вычисления радиуса кольца Ньютона; изменить только формулу для разности хода лучей:

$$\Delta = 2h n_2.$$

В правой части отсутствует слагаемое $\lambda/2$, т.к. оба интерферирующих луча отражаются от более плотной среды.

Ответ: $r = \sqrt{\frac{\lambda R(1 + 2m)}{2n_2}}$.

Дифракция света

21. *Решение*. На рис. 10 показан один из возможных случаев дифракции сходящихся лучей:

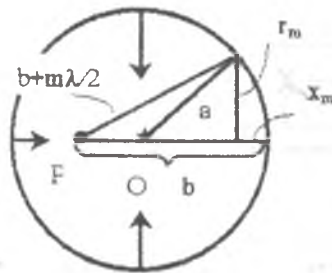


Рис. 10

Здесь r_m - радиус m -й зоны Френеля, P - точка наблюдения, O - центр сферической поверхности волнового фронта. Из прямоугольных треугольников находим:

$$r_m^2 = a^2 - (a - x_m)^2,$$

$$r_m^2 = (b + m\frac{\lambda}{2})^2 - (b - x_m)^2.$$

Пренебрегая величинами второго порядка малости и решая эту систему, получаем:

$$r_m \approx \sqrt{\frac{abm\lambda}{a-b}}$$

где также учтен второй возможный случай, когда точка **P** лежит *справа* от точки **O**, т.е. $b > a$.

22. У к а з а н и е . "Затемнением" считать минимум интенсивности света, соответствующий четному числу зон Френеля, укладываемых в отверстии диафрагмы **D** при определенном ее положении. Следует определить число *целых* зон Френеля m , придавая отрезкам a и b поочередно значения **50**, **100** и **150** см.

Ответ: Затемнение будет наблюдаться в точке **B** один раз, когда диафрагма **D** будет проходить середину отрезка **AB**.

$$23. \lambda = (r_2^2 - r_1^2) / (a + b) / 2ab = 0,60 \text{ мкм} .$$

24. У к а з а н и е . Использовать стандартную формулу радиуса m -й зоны Френеля, строя зоны в отверстии диафрагмы: *источник* при этом считать находящимся в *фокусе* линзы, расстояние между источником и экраном (« $a+b$ » в стандартной формуле) заменить на $b - f$.

$$\text{Ответ: } r = \sqrt{\frac{mf \cdot b}{b - f}} \text{ , где } m = 1, 3, 5, \dots$$

25. У к а з а н и е . Воспользоваться формулой распределения интенсивности при дифракции света на решетке:

$$J = J_0 \left(\frac{\sin U}{U} \right)^2 \left(\frac{\sin N\beta}{\sin \beta} \right)^2 .$$

где $U = \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda}$, $\beta = \frac{\pi d \sin \varphi}{\lambda}$, а также условием максимума дифракции $d \sin \varphi = m\lambda$.

$$26. 1 \text{ см} .$$

$$27. 2^\circ .$$

$$28. J_1 : J_6 = 1 : 4 .$$

29. *Решение*. Угловую дисперсию $D = \Delta\phi/\Delta\lambda$ можно найти из условия максимума $d \sin \phi = m\lambda$. Дифференцируя это выражение, находим $d \cos\phi = m \cdot \Delta\lambda$, откуда

$$D = \left(\frac{\Delta\phi}{\Delta\lambda} \right)_{m=\text{const}} = \frac{m}{d \cos\phi} \approx \frac{m}{d} = \frac{1}{d} = 8,15 \text{ угл с / \AA}.$$

Линейная дисперсия $L = \Delta S/\Delta\lambda$, где ΔS - расстояние между линиями, отличающимися на $\Delta\lambda$. В спектрографе $\Delta S = f \cdot \Delta\phi$, поэтому

$$L = Df = mf/d = 1,97 \cdot 10^{-2} \text{ мм / \AA}.$$

30. *Указание*. Использовать формулу для разрешающей способности $R = mN$, где $N = L/d$, и условие максимума:

$$\sin\phi_{\text{max}} = m_{\text{max}} \lambda/d = 1.$$

31. *Решение*. Искомый угол находим из условия максимума:

$$\phi = \arcsin(m\lambda_1/d).$$

Для вычисления номера m используем определение разрешающей способности

$$R = \frac{\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} = mN,$$

откуда

$$m = \frac{\lambda}{N(\lambda_2 - \lambda_1)}.$$

Это значение подставляем в искомое выражение для угла дифракции:

$$\phi = \arcsin\left(\frac{\lambda_1\lambda_2}{Nd(\lambda_2 - \lambda_1)}\right), \quad \text{здесь } Nd = L.$$

32. Компоненты будут разрешены в четвертом порядке.

33. *Указание*. Сложив две гармонические плоские волны $E_1 = E_0 \cos(\omega_1 t - k_1 x)$ и $E_2 = E_0 \cos(\omega_2 t - k_2 x)$, получить результирующую сложную волну

$$E = 2E_0 \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2}t - \frac{\Delta k}{2}x\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t + \frac{k_1 - k_2}{2}x\right),$$

где $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$ и $\Delta k = k_1 - k_2$. В полученном выражении выделить амплитуду - слабо меняющийся со временем множитель. Условие максимума

$$\frac{\Delta\omega}{2}t - \frac{\Delta k}{2}x_{\max} = m\pi$$

указывает на точки пространства x_{\max} , в которых амплитуда принимает наибольшие значения.

Используя определение групповой скорости, как скорости перемещения максимума амплитуды волнового импульса, найти:

$$u = \frac{dx_{\max}}{dt} = \frac{d\omega}{dk}$$

где $\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$, и $k = \frac{k_1 + k_2}{2}$.

34. $u = v - \lambda \, dv/d\lambda$.

35. а) $u = 2v$; б) $u = 1/3 v$; в) $u = 3/2 v$.

36. $\varepsilon = 1 + A/\omega^2$, где A - постоянная.

Содержание

Предисловие	3
Программа лекционного курса	4
Семинарские занятия	6
Лабораторный практикум	7
Темы для самостоятельного изучения	8
Формы текущего контроля	8
Задачи	9
Ответы и указания к решениям	15

Редактор Т.И.Кузнецова
Компьютерная верстка, макет О.А.Быковская

ЛР № 020316 от 04.12.96. Подписано в печать 26.03.99. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать оперативная. Объем 1,4 усл.-печ. л., 1,5 уч.-изд. л.
Тираж 150 экз. Заказ № 155
Издательство «Самарский университет», 443011, г. Самара, ул.Акад.Павлова, 1.
УОП СамГУ, ПЛД № 67-43 от 19.02.98.