

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЁТА И РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

При выполнении расчётно-графических работ (РГР) по волновой оптике необходимо оформить отчёт в печатном виде на листах формата А4 следующего содержания.

1. Титул в соответствии с требованиями СПГГУ.
2. Формулировка задания в соответствии со своим вариантом.

3. Теоретические основы работы.

В краткое содержание теоретической части работы необходимо включить:

- явления или процессы, изучаемые в РГР.
- определения основных физических понятий, объектов, процессов и величин, касающихся данной работы.
- законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы.
- пояснения к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерения.

4. Решение задач расчётно-графической работы.

При решении задач необходимо:

- выполнить рисунок или начертить схему;
- сопровождать используемые при решении законы, уравнения и соотношения, пояснениями, мотивирующими решение;
- представить результат в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в формулировке задания, или введенных самостоятельно, а также необходимые физические константы;
- проверить размерность величин, полученных в результате решения, т.е. убедиться в правильности размерности искомой величины, подставив обозначения единиц измерения в окончательную формулу;
- выполнить необходимые вычисления и представить результат в Международной системе единиц;

- сформулировать полный ответ в соответствии с вопросами задания.

5. Графический материал.

При построении графиков, указанных в задании следует:

- представить таблицы с данными для построения графиков;
- указать аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить;
- указать на осях координат физические величины и единицы их измерения;

6. Анализ и выводы по результатам работы.

РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАЩИТЕ ОТЧЕТА ПО РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

К защите допускаются студенты, подготовившие отчет в соответствии с требованиями по пункту 1 и сдавшие его на проверку в установленные сроки. После проверки преподавателем содержания отчёта, при наличии ошибок и недочетов, работа возвращается студенту на доработку. При соблюдении всех требований к оформлению отчёта, правильном выполнении задания и решении соответствующих задач студенту назначается аудиторная защита.

Для успешной защиты отчета необходимо изучить теоретический материал по теме работы, а так же освоить математический аппарат, необходимый для решения задач расчетно-графической работы. При подготовке к защите, помимо данного методического указания, необходимо использовать учебники и другие учебные пособия, рекомендованные министерством образования и науки к учебному процессу. Во время защиты студент должен уметь ответить на вопросы преподавателя в полном объёме теоретического и методического содержания данного РГР, уметь самостоятельно вывести необходимые расчётные формулы, выполнить анализ полученных зависимостей и прокомментировать полученные результаты.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

Интерференция – явление перераспределения энергии переносимой волной в результате сложения или наложения колебаний от двух или нескольких когерентных дискретных источников.

Когерентность – согласованное протекание в пространстве и во времени нескольких колебательных или волновых процессов.

Длина волны – расстояние, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний.

Кольца Ньютона – классический пример полос равной толщины. Наблюдаются при отражении света от плоскопараллельной толстой стеклянной пластинки, соприкасающейся с плоско-выпуклой линзой с большим радиусом кривизны.

Интенсивность света – модуль среднего во времени значения плотности потока энергии, переносимой световой волной.

$$I = | \langle [\vec{E}\vec{H}] \rangle |$$

Мгновенное значение проекции вектора напряжённости на границе раздела двух сред:

$$E_x' = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \cdot E_x$$

где \vec{E}, \vec{H} – соответственно напряжённость электрического и магнитного поля; E_x – проекция вектора напряжённости электрического поля в падающей волне; E_x' – проекция вектора напряжённости электрического поля в отраженной волне.

Оптическая длина пути световой волны

$$L = n \cdot l \text{ или } L = \int n dl$$

Абсолютный показатель преломления среды

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_2 - L_1 = n_2 l_2 - n_1 l_1$$

Скорость света в среде

$$v = \frac{c}{n}$$

где l – геометрическая длина пути световой волны в среде; c – скорость света в вакууме; λ_0, λ – длина волны в вакууме и в среде соответственно.

Условие максимумов и минимумов интенсивности света при интерференции для оптической разности хода

$$\Delta_{\max} = \pm k \lambda_0, \quad \Delta_{\min} = \pm (2k+1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Координаты максимумов интенсивности света на экране

$$x_k = \pm \frac{l}{d} \cdot k \lambda_0, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Координаты минимумов интенсивности света на экране

$$x_k = \pm \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{l}{d} \cdot \lambda_0, \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Расстояние между центрами соседних максимумов (минимумов) или ширина интерференционной полосы

$$\Delta x = \frac{l}{d} \cdot \lambda_0$$

Разность фаз колебаний

$$\delta = \frac{2\pi \cdot \Delta}{\lambda_0}$$

Оптическая разность хода световых волн отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластины или пленки

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda_0}{2}$$

где d – толщина пластинки, α – угол падения.

Радиусы темных и светлых колец Ньютона в отраженном свете или светлых и темных в проходящем свете

$$r_k = \sqrt{Rk\lambda_0}, \quad r_k = \sqrt{(2k-1)R(\lambda_0/2)}$$

где k – номер кольца; R – радиус кривизны поверхности линзы.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СВЕТА

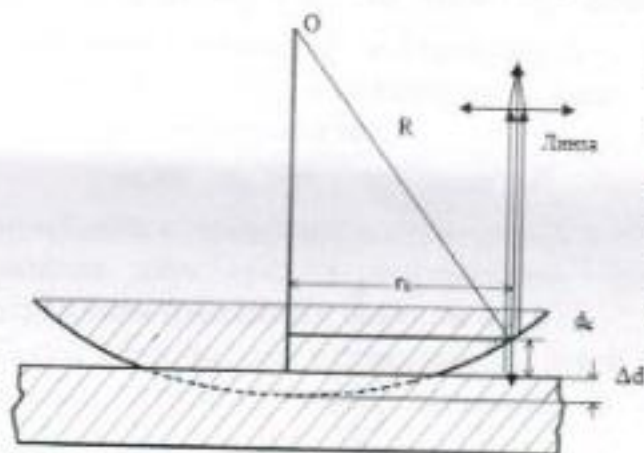
Пример 1. На вершине сферической поверхности плоско-выпуклой стеклянной линзы, находящейся в вакууме, имеется сошлифованный плоский участок радиуса $r_0 = 4$ мм. Плоский участок соприкасается со стеклянной пластиной. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы $R = 155$ см.

Найти радиус темного кольца номер $k = 9$ при наблюдении в отраженном свете с длиной волны $\lambda = 780$ нм.

Дано: $k=9$, $\lambda=780$ нм, $R = 155$ см. **Найти:** r_k .

Решение

В соответствии с условием задачи на рис. 1 представлен ход лучей через линзу и основные параметры.



R – радиус кривизны поверхности линзы
 Δd – высота сошлифованного плоского участка
 r_0 – радиус окружности, всем точкам которой соответствует одинаковый зазор
 Δd – воздушный зазор между пластинкой и линзой

Рис. 1

По условию задачи требуется найти радиус темного кольца.

Темному кольцу соответствует условие интерференционного минимума, т.е. оптическая разность хода отражённых интерферирующих волн должна быть равна нечетному числу половине длины волны:

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2} \quad (1).$$

По своему определению оптическая разность хода выражается следующей формулой:

$$\Delta = L_2 - L_1 = l_2 n_2 - l_1 n_1 \quad (2).$$

С другой стороны (из рисунка 1) оптическая разность хода световых волн равна

$$\Delta = 2d_k n \quad (3)$$

Кроме оптической разности хода Δ необходимо учесть возможность изменения фазы волны при отражении. Для этого найдем соотношение между фазами падающей и отраженной волн.

Из формулы для проекции вектора напряженности электрического поля в отраженной волне $E'_x = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \cdot E_x$ следует:

если $n_2 < n_1$, то знак E'_x совпадает со знаком E_x , и колебания в падающей и отраженной волне происходят на границе раздела двух сред в одинаковой фазе, то есть фаза волны при отражении не изменяется;

если $n_2 > n_1$, то знак E'_x противоположен знаку E_x , колебания в падающей и отраженной волнах происходят на границе раздела двух сред в противофазе, при этом фаза волны при отражении изменяется скачком на π .

Таким образом, при отражении световой волны от границы раздела среды, оптически менее плотной, со средой, оптически более плотной, фаза колебания вектора \vec{E} претерпевает изменение на π .

Так как, показатель преломления стекла ($n_1 = 1,75$) больше показателя преломления воздуха ($n_2 = 1,00029$), то при отражении на выпуклой границе раздела линза - воздух (первый отражённый луч) изменение фазы колебаний не происходит. В случае отражения

на границе воздух – пластинка (второй отражённый луч) происходит изменение фазы на π .

При возникновении дополнительной разности фаз её необходимо учитывать. Учитывая связь между разностью фаз и разностью хода лучей $\delta = \frac{2\pi \cdot \Delta}{\lambda_0}$, соответственно разность фаз колебаний станет

$$\delta + \pi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta + \pi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left(\Delta + \frac{\lambda_0}{2} \right) \quad (4)$$

Таким образом, из выражения (4) видно, что оптическая разность хода изменяется, получив дополнительно половину длины волны в вакууме, $\Delta_{\text{опт}} = \frac{\lambda_0}{2}$.

К оптической разности хода двух лучей в отражённой волне (формула 3) необходимо добавить полученную половину длины волны в вакууме.

В результате оптическая разность хода световых волн будет равна

$$\Delta = 2d_k n + \frac{\lambda_0}{2} \quad (5)$$

Приравняв выражение (1) и (5), получим:

$$(2k+1) \frac{\lambda_0}{2} = 2d_k n + \frac{\lambda_0}{2} \quad (6)$$

Из геометрических соображений (рис. 1):

$$R^2 = r_k^2 + (R - d - \Delta d)^2$$

Раскрывая скобки и учитывая, что $d \ll R$ и $\Delta d \ll R$, величинами d^2 и Δd^2 можно пренебречь.

$$\text{Тогда} \quad R^2 = r_k^2 + R^2 - 2Rd - 2R\Delta d$$

$$\text{Отсюда} \quad 2d_k = \frac{r_k^2 - 2R\Delta d}{R} \quad (7)$$

Из рисунка 1 также следует

$$R^2 = (R - \Delta d)^2 + r_0^2$$

Отсюда

$$\Delta d = \frac{r_0^2}{2R} \quad (8)$$

Здесь r_0 – радиус сошлифованного участка.

Используя формулу (8) а также подставляя (7) в формулу (6), получим

$$2d_k = \frac{r_k^2 - r_0^2}{R} \quad \text{и} \quad (2k+1) \frac{\lambda_0}{2} = \frac{r_k^2 - r_0^2}{R} n + \frac{\lambda_0}{2}$$

Длина световой волны в среде с показателем преломления n связана с длиной волны в вакууме соотношением

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (9)$$

Разрешив получившееся уравнение относительно r_k с учётом (9), найдем радиус темных колец Ньютона в отражённом свете

$$r_k = \sqrt{k \cdot R \cdot \lambda + r_0^2} \quad (10)$$

В результате выражение для радиуса темных колец Ньютона

$$r_k = \sqrt{k \cdot R \cdot \lambda + r_0^2}$$

Проверка размерности:

$$[r_k] = \sqrt{m \cdot m + m^2} = \sqrt{m^2} = m$$

Вычисления:

При $k = 9$, $\lambda = 780$ нм, $R = 155$ см,

$$r_k = \sqrt{kR\lambda n + r_0^2} = \sqrt{9 \cdot 7,8 \cdot 10^{-7} \cdot 155 \cdot 10^{-2} + (4 \cdot 10^{-3})^2} = 5,18 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

При любом k радиус темных колец Ньютона

$$r_k = \sqrt{12,1 \cdot 10^{-7} k + r_0^2}$$

Ответ: радиус темного кольца с номером $k = 9$ при наблюдении в отраженном свете равен $5,18 \cdot 10^{-3}$ м.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Расчётно-графическая работа 1

Тема: *Интерференция света в тонких плёнках.*

Задание 1.1

Формулировка задания

На поверхности стекла ($n_{ст} = 1,75$) находится плёнка жидкости с показателем преломления n . На неё падает свет с длиной волны λ под углом θ к нормали.

Изобразить ход интерферирующих лучей.

Найти скорость, с которой уменьшается толщина плёнки (из-за испарения), если интенсивность отражённого света меняется так, что промежуток времени между последовательными максимумами отражения равен Δt .

Построить график зависимости величины скорости от показателя преломления жидкости $V=f(n)$ (варианты 1-10) или от угла падения света $V=f(\theta)$ (варианты 11-20).

Таблица 1. Значения параметров по вариантам.

Вариант		λ	θ	Δt	n
$V=f(n)$	$V=f(\theta)$	мкм	град	мин.	Безразмерная величина
1	11	0,38	30	18	1,5
2	12	0,4	30	12	1,33
3	13	0,42	5	3	1,6
4	14	0,52	20	5	1,3
5	15	0,6	18	10	1,4
6	16	0,65	10	14	1,7
7	17	0,68	30	15	1,2

8	18	0,7	15	10	1,2
9	19	0,75	25	8	1,25
10	20	0,78	20	15	1,4

Задание 1.2

Формулировка задания

На оптически прозрачную плоскопараллельную пластинку (пленку) под некоторым углом α к нормали из воздуха падает монохроматический свет с длиной волны λ .

Параметры пластинки: толщина d , показатель преломления n . Выходящие в воздух с противоположной стороны пластинки световые лучи оказываются смещенными на расстояние Δh относительно своего первоначального направления распространения.

Изобразить на рисунке ход лучей, показав падающий, преломленные и интерферирующие лучи.

Построить график зависимости $\Delta h = f(\alpha)$, то есть смещения выходящего луча от угла падения света, и определить из нее графическим методом угол падения α , соответствующий условию задания.

Рассчитать какое отклонение одного из параметров α , d , n в окрестности заданного в условии его значения можно измерить, фиксируя количество интерференционных полос k , на которое смещается интерференционная картина при его изменении.

Таблица 2. Значения параметров по вариантам.

Вариант	d ,	n	Δh ,	λ ,	k	Изменяемый параметр
	мм		мм	мкм		
1	1,0	1,3	0,8	0,4	1	α
2	1,2	1,5	0,9	0,3	3	d
3	1,4	1,44	1,1	0,8	4	n
4	0,3	2,42	0,2	0,7	5	α