5.1. Методические указания к выполнению РГР по оптике

В РГЗ включены задачи по темам: механические колебания, электромагнитные колебания, упругие и электромагнитные волны, интерференция, дифракция, поляризация света.

При решении задач следует выполнить общие методические рекомендации.

Задачи 401…410 относятся к теме "Механические гармонические колебания". Для решения этих задач необходимо изучить тему "Механические колебания" по учебнику [1], с. 255…261.

Рекомендуется учитывать, что колебания различной физической природы описываются математически одинаково. Различные характеристики колебаний можно получить из уравнений колебаний, применяя дифференцирование или интегрирование. Обращать внимание на фазовые сдвиги между различными характеристиками, например, между смещением и скоростью, ускорением; или между током и напряжением.

Задачи 411…420 относятся к теме “Затухающие механические колебания”. Приступая к решению этих задач, необходимо ознакомиться с данной темой по учебнику [1], с. 267…276.

Следует обращать внимание на физический смысл коэффициента затухания, логарифмического декремента затухания, на связь между частотой затухающих колебаний и собственной частотой.

Задачи 421…430 относятся к теме "Электромагнитные колебания". Приступая к решению этих задач, необходимо ознакомиться с данной темой по учебнику [1], с. 261…263, 267…283. Решение этих задач предполагает, что закономерности механических и электрических колебаний математически выражаются одинаково.

Задачи 431…440 относятся к теме “Сложение колебаний”.

Для решения этих задач необходимо ознакомиться с конкретными физическими понятиями, законами или формулами данной темы по учебнику [1], с. 261…263, 267…283.

При решении задач на сложение колебаний обращать внимание на разность фаз складываемых колебаний.

Задачи 441…450 относятся к теме “Упругие и электромагнитные волны”. Приступая к решению этих задач, необходимо ознакомиться с данной темой по учебнику [1], с. 284…289, 297…305.

Иметь в виду, что уравнения упругих и электромагнитных волн математически одинаковы, их можно использовать так же, как уравнения колебаний.

Задачи 451…460 относятся к теме "Интерференция света”.
Теоретический материал по этой теме изложен в [1], с. 316…331.

Задачи 461…470 относятся к теме “Дифракция света”. Для решения этих задач следует ознакомиться с конкретными физическими понятиями, законами или формулами данной темы по учебникам [1], с. 332…347.

Задачи 471…480 относятся к теме “Поляризация света”. Приступая к решению этих задач, необходимо ознакомиться с данной темой по учебнику [1], с. 355…366 и 351…353.

При решении задач на волновые свойства света (интерференция, дифракция, поляризация, поглощение) помнить, что за световой вектор принимается вектор напряжённости электрического поля; все энергетические характеристики света аналогичны таковым для электромагнитных волн.

Табл. 4

Вариант	Номера задач							
0	401	411	421	431	441	451	461	471
1	402	412	422	432	442	452	462	472
2	403	413	423	433	443	453	463	473
3	404	414	424	434	444	454	464	474
4	405	415	425	435	445	455	465	475
5	406	416	426	436	446	456	466	476
6	407	417	427	437	447	457	467	477
7	408	418	428	438	448	458	468	478
8	409	419	429	439	449	459	469	479
9	410	420	430	440	450	460	470	480

5.2. Основные законы и формулы. Примеры решения задач

5.2.1. Гармонические механические колебания

1) Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки

$$x = A\cos(\omega t + \varphi),$$

где x – смещение от положения равновесия; A – амплитуда колебаний; $(\omega t+\varphi)$ – фаза; φ – начальная фаза; ω – круговая частота.

2) Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$\upsilon = -A\,\omega\sin(\omega t + \varphi),$$

$$a = -A\,\omega^2\cos(\omega t + \varphi).$$

3) Период колебаний:

a) тела, подвешенного на пружине,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\kappa}},$$

где m – масса тела; κ – жесткость пружины;

b) математического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l – длина маятника; g – ускорение свободного падения.

c) физического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mga}},$$

где J – момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний; a – расстояние от центра тяжести маятника до оси колебаний; $L = J/ma$ – приведенная длина физического маятника.

Примеры решения задач

Задача 1

К невесомой пружине, коэффициент упругости которой 200 Н/м, прикреплен груз массой 1 кг. Груз смещен на 10 см от положения равновесия, после чего предоставлен себе. Определить наибольшее и наименьшее ускорения груза. Трением пренебречь.

Дано:	Решение:
k = 200 Н/м m = 1 кг A_0 = 10 см = 0,1 м	Под действием силы упругости груз совершает свободные гармонические колебания, уравнение которых запишем в виде
$a_{max} = ?$ $a_{min} = ?$	$$x = A_0\cos\omega t,$$ (1)

где A_0 – амплитуда колебания; ω – циклическая частота.

Продифференцировав выражение (1) по времени, определим скорость груза:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A_0\omega\sin\omega t,$$

(2) а после дифференцирования скорости по времени – ускорение

$$a = \frac{dv}{dt} = -A_0\omega^2\cos\omega t = -\omega^2 x$$

(3)

Так как $\omega^2 = \dfrac{k}{m}$, то ускорение a можно записать в виде

$$a = -\omega^2 x = -\frac{k}{m} x. \qquad (4)$$

Ускорение имеет максимальное значение при $x = A_0$, то есть при наибольшем отклонении от положения равновесия

$$|a_{max}| = \frac{k}{m} A_0. \qquad (5)$$

В положении равновесия, при x = 0, ускорение a = 0. Подставляя числовые значения в выражение (5), получим:

$$a_{max} = (200/1)\cdot 0{,}1 = 20 \text{ м/с}^2.$$

5.2.2. Затухающие колебания

1) Уравнение затухающих колебаний

$$x(t) = a_0 e^{-\delta t}\cos(\omega t + \alpha),$$

где $A(t) = A_0 e^{-\delta t}$ – амплитуда затухающих колебаний; A_0 – начальная амплитуда (при t = 0); $\delta = \dfrac{r}{2m}$ – коэффициент затухания; $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ – круговая частота.

2) Логарифмический декремент затухания

$$\theta = \ln\frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{1}{N_e},$$

где T – период колебаний; N_e – количество колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды в e раз.

3) Добротность колебательной системы при $\delta^2 << \omega^2$:

$$Q = \frac{\pi}{\theta} = \frac{W}{\Delta W(T)} = \frac{\pi}{\delta T_0} = \frac{\omega_0}{2\delta},$$

где W – полная энергия системы; $\Delta W(T)$ – потери энергии за период.

Примеры решения задач

Задача 1

Прибор для измерения плотности жидкостей – ареометр массой 0,8 кг с цилиндрической трубкой диаметром 0,3 см опущен в жидкость плотностью $1{,}2\cdot 10^3$ кг/м^3. Ареометр получил небольшой импульс в вертикальном направлении и опустился на глубину $x_0 = 3$ см. Коэффициент сопротивления $r = 0{,}01$ кг/с. Определить: циклическую частоту колебаний; количество колебаний, через которое амплитуда уменьшится в 3 раза.

Дано:	Решение:
$m = 0{,}08$ кг	При опускании ареометра в жидкость появляется квазиупругая выталкивающая сила
d = 0,3 см = $3\cdot 10^{-3}$ м	$$F_e = -\frac{\pi d^2}{4}\rho g x$$
$\rho = 1{,}2\cdot 10^3$ кг/м$^{-3}$	и сила сопротивления
$x_0 = 3\cdot 10^{-2}$ м	$$F_c = -r\upsilon = -r\dot{x}..$$
$r = 0{,}01$ кг/с	Уравнение движения ареометра
$\omega = ?$ $N = ?$	

$$m\ddot{x} = -\frac{\pi d^2}{4}\rho g x - r\dot{x}$$

преобразуется в уравнение колебаний

$$\ddot{x} + 2\delta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0,$$

где $\delta = \dfrac{r}{2m}$ – коэффициент затухания; $\omega_0^2 = \dfrac{\pi d^2 \rho g}{4m}$ – собственная частота колебаний.

Частота затухающих колебаний

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{\pi d^2\rho g}{4m} - \frac{r^2}{4m^2}}.$$

Подставляя числовые значения, получим: $\omega \approx 1\, c^{-1}$

Амплитуда затухающих колебаний

$$A(t) = x_0 e^{-\delta t}.$$

При уменьшении амплитуды в 3 раза

$$\frac{A(t_1)}{A(t_2)} = \frac{x_0 e^{-\delta t_1}}{x_0 e^{-\delta t}} = e^{-\delta(t_2 - t_1)} = 3.$$

Отсюда $$\delta(t_2 - t_1) = \delta\Delta t = \ln 3.$$

Учитывая, что $\Delta t = NT$, а $T = \frac{2\pi}{\omega}$, получим:

$$N = \frac{\ln 3}{\delta T} = \frac{\omega \ln 3}{2\pi\delta} = \frac{2m\omega \ln 3}{2\pi r}.$$

Подставляя числовые значения, получим: $N = 3$.

5.2.3. Электромагнтные колебания

1) Эффективные (действующие) значения напряжения и силы переменного тока

$$U_{\text{Д}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad I_{\text{Д}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}},$$

где U_m и I_m – амплитудные значения напряжения и силы тока.

2) Закон Ома для цепи переменного тока, содержащей последовательно соединенные резистор сопротивлением R, катушку индуктивностью L и конденсатор электроемкостью C:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \quad \text{или} \quad I_{\text{Д}} = \frac{U_{\text{Д}}}{Z},$$

где $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ – полное сопротивление цепи; $X_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление; $X_C = \frac{1}{\omega C}$ – емкостное сопротивление; ω – круговая частота переменного тока.

При этом сдвиг фаз между напряжением и силой тока определяется из условия

$$tg\varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \text{или} \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z}.$$

3) Средняя мощность, выделяемая в цепи переменного тока:

$$P = I_Д U_Д \cos\varphi,$$

где φ – сдвиг фаз между напряжением и силой тока.

4) Период собственных электромагнитных колебаний в контуре без активного сопротивления (формула Томсона)

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где L – индуктивность контура; C – электроемкость.

Примеры решения задач

Задача 1.

Разность потенциалов между обкладками конденсатора электроемкостью 0,5 мкФ в колебательном контуре изменяется со временем по закону $U = 100\sin 1000\pi t$ В. Определить период собственных колебаний, индуктивность, полную энергию контура и максимальную силу тока, текущего по катушке индуктивности. Активным сопротивлением контура пренебречь.

Дано:	Решение:
$C = 0{,}5\,\text{мкФ} = 5\cdot10^{-7}$ Ф $U_m = 100$ В $\omega = 10^3\pi$ с$^{-1}$ $T = ?\ \omega = ?\ I_m = ?\ L = ?$	Напряжение на конденсаторе изменяется по гармоническому закону $U = U_m \sin\omega t,$ где U_m – амплитудное (максимальное) значение

напряжения на обкладках конденсатора; ω – собственная круговая частота колебаний, которая связана с периодом соотношением $T=2\pi/\omega$. Отсюда находим

$$T = 2\pi/1000\pi = 2\cdot10^{-3} \text{ с}.$$

Период собственных колебаний в контуре определяется по формуле Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$, откуда

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C}; \qquad L = \frac{(2\cdot 10^{-3})^2}{4(3{,}14)^2\, 0{,}5\cdot 10^{-6}} = 0{,}2 \text{ Гн}.$$

Полная энергия контура складывается из энергии электрического поля W_C конденсатора и энергии магнитного поля W_L катушки:

$$W = W_C + W_L = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2}.$$

Полная энергия электрического контура равна максимальной энергии поля конденсатора $W_{Cmax} = CU_m^2/2$ или максимальной энергии поля катушки $W_{Lmax} = LI_m^2/2$.

Таким образом,

$$W = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{0{,}5\cdot 10^{-6}\cdot 100^2}{2} = 2{,}5\cdot 10^{-3}\,\text{Дж}.$$

Зная полную энергию, можно определить максимальную силу тока, протекающего по катушке индуктивности:

$$I_m = \sqrt{\frac{2W}{L}}; \qquad I_m = \frac{2\cdot 2{,}5\cdot 10^{-3}}{0{,}2} = 0{,}16 \text{ А}.$$

5.2.4. Сложение гармонических колебаний

1) Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты:

- амплитуда результирующего колебания

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1\cdot A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

- начальная фаза результирующего колебания

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}.$$

2) Траектория точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях ($x_1 = A_1\cos\omega t$, $y = A_2\cos(\omega t + \varphi)$):

а) $y = (A_2 / A_1)x$ (если разность фаз $\varphi = 0$);

б) $y = -(A_2 / A_1)x$ (если разность фаз $\varphi = \pm\pi$);

в) $x^2 / A_1^2 + y^2 / A_2^2 = 1$ (если разность фаз $\varphi = \pm\pi/2$).

Примеры решения задач

Задача 1

Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях, уравнения которых:

$$x = A_1 \cos\omega_1 t, \quad (1)$$

$$y = A_2 \cos\omega_2 t, \quad (2)$$

где $A_1 = 1$ см; $\omega_1 = \pi$ с$^{-1}$; $A_2 = 2$ см; $\omega_1 = \pi/2$ с$^{-1}$.

Найти уравнение траектории точки. Построить траекторию с соблюдением масштаба и указать направление движения точки.

Дано:	Решение:
$x = A_1 \cos\omega_1 t$ $y = A_2 \cos\omega_2 t$ $A_1 = 1$ см $= 0{,}01$м $A_2 = 2$ см $= 0{,}02$м	Чтобы определить траекторию точки, исключим время из уравнений (1) и (2). Заметив, что $y = A_2 \cos(\omega_1/2)t$, применим формулу косинуса половинного угла: $\cos(\alpha/2) = \pm\sqrt{(1+\cos\alpha)/2}$.
$y = f(x) = ?$	

Используя это соотношение и отбросив размерности x и y, можно написать:

$$y = 2\cos\frac{\omega_1 t}{2} = 2\sqrt{\frac{1+\cos\omega_1 t}{2}}; \quad x = \cos\omega_1 t,$$

откуда

$$y = \pm 2\sqrt{(1+x)/2} \quad \text{или} \quad y = \pm\sqrt{2x+2}. \quad (3)$$

Выражение (3) есть уравнение параболы, ось которой совпадает с осью *OX*. Как показывают уравнения (1) и (2), амплитуда колебаний точки по оси *OX* равна 1, а по оси *OУ* –2. Следовательно, абсциссы всех точек траектории заключены в пределах от –1 до +1, а ординаты – от –2 до +2.

Для построения траектории найдем из уравнения (3) значения *y*, соответствующие ряду значений *x*, удовлетворяющих условию $|x| \le 1$:

x	$y = \sqrt{2x+2}$	x	$y = \sqrt{2x+2}$
- 1	0	0	± 1,41
- 0,75	± 0,71	0,5	± 1,73
- 0,5	± 1	1	± 2

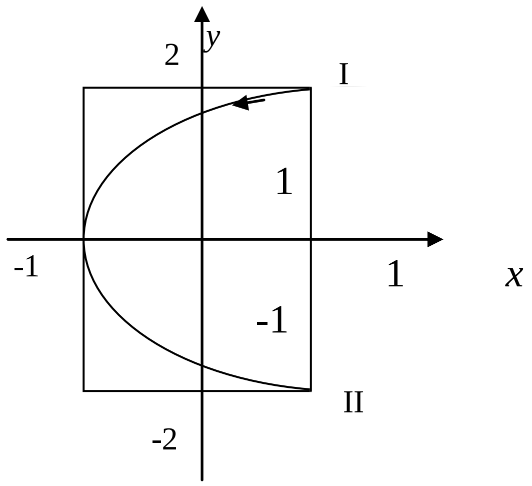


Рис. 1

Начертив координатные оси и выбрав единицу длины (сантиметр), построим точки. Соединив их плавной кривой, получим траекторию результирующего колебания точки, которая представляет собой часть параболы, заключенной внутри прямоугольника амплитуд.

Далее определим направление движения точки. Из уравнений (1) и (2) находим, что период колебаний точки по горизонтальной оси T_x = 2 с, а по вертикальной оси T_y = 4 с.

Следовательно, когда точка совершает одно полное колебание по оси *OX*, она совершает только половину полного колебания по оси *OУ*. В начальный момент ($t = 0$) имеем: $x = 1$, у = 2 (точка находится в положении 1) при $t = 1$ с получим: $x = -1$ и у = 0 (точка находится в вершине параболы); При $t = 2$ с получим: $x = 1$ и у = –2 (точка находится в положении 2). После этого она будет двигаться в обратном направлении.

5.2.5. Упругие и электромагнитные волны

1) Уравнение плоской бегущей волны

$$y = A\cos\,\omega(t - x/v),$$

где y – смещение любой из точек среды с координатой x в момент t; v – скорость распространения колебаний в среде.

2) Связь разности фаз $\Delta\varphi$ колебаний с расстоянием между точками среды, отсчитанным в направлении распространения колебаний:

$$\Delta\varphi = (2\pi/\lambda)\Delta x,$$

где λ – длина волны.

3) Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}},$$

где c – скорость электромагнитных волн в вакууме, $c = 3\cdot 10^8$ м/с.

4) Связь длины электромагнитной волны с периодом T и частотой ν колебаний

$$\lambda = vT \quad \text{или} \quad \lambda = v/\nu.$$

5) В плоской электромагнитной волне

$$E\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0} = H\sqrt{\mu\mu_0}.$$

6) Вектор Пойнтинга

$$\Pi = [\vec{E}\vec{H}].$$

Модуль вектора Пойнтинга равен плотности потока энергии электромагнитной волны.

Примеры решения задач

Задача 1

Плоская волна распространяется в упругой среде со скоростью 100 м/с. Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно 1м. Определить период колебаний и частоту.

Дано:	Решение:
$\Delta x = 1$м $\upsilon = 100$м/с	Точки, находящиеся друг от друга на расстоянии, равном длине волны, колеблются с разностью фаз, равной 2π. Точки, находящиеся друг от друга на любом
$T = ?$ $\nu = ?$	расстоянии, колеблются с разностью фаз, равной

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x. \tag{1}$$

Решая это равенство относительно λ, получаем

$$\lambda = 2\pi\Delta x / \Delta\varphi. \tag{2}$$

По условию задачи $\Delta\varphi = \pi$. Подставляя значения величин, входящих в выражение (2), получим:

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot 1}{\pi} = 2 \text{ м.}$$

Скорость υ распространения волны связана с λ и T отношением

$$\lambda = \upsilon \cdot T = \upsilon / \nu, \tag{3}$$

где ν – частота колебаний.

Из выражения (3) получаем $\nu = \upsilon/\lambda$.

Произведем вычисления:

ν = (100 / 2) = 50 Гц, T = 1/50 с = 0,02 с.

5.2.6. Интерференция света

1) Скорость света в среде

$$v = c/n,$$

где c – скорость света в вакууме; n – показатель преломления среды.

2) Оптическая длина пути световой волны

$$L = nl,$$

где l – геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n.

3) Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2 .$$

4) Связь разности фаз колебаний $\Delta\varphi$ с оптической разностью хода

$$\Delta\varphi = 2\pi(\Delta/\lambda),$$

где λ – длина световой волны в вакууме.

5) Условие максимального усиления света при интерференции

$$\Delta = \pm 2\kappa\frac{\lambda}{2} = \pm\kappa\lambda, \qquad \kappa = 0,\ 1,\ 2\ldots$$

Условие максимального ослабления света при интерференции

$$\Delta = \pm(2\kappa + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

6) Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \frac{\lambda}{2} = 2dn\cos i_2 - \frac{\lambda}{2},$$

где d – толщина пленки; n – показатель преломления пленки; i_1 – угол падения; i_2 – угол преломления света в пленке.

Разность хода – $\lambda/2$ возникает при отражении света от оптически более плотной среды.

7) Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете

$$r_к = \sqrt{\frac{(2к-1)R\lambda}{2n}}, \qquad к = 1, 2, 3\ldots,$$

где $к$ – номер кольца; R – радиус кривизны; n – показатель преломления среды, находящейся между линзой и стеклянной пластинкой.

Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете

$$r_к = \sqrt{\frac{кR\lambda}{n}}, \qquad к = 0, 1, 2\ldots$$

Примеры решения задач

Задача 1

Расстояние между двумя когерентными источниками равно 0,9 мм. Источники, испускающие монохроматический свет с длиной волны 640 нм, расположены на расстоянии 3,5 м от экрана. Определить число светлых полос, которые наблюдаются на 1 см длины экрана.

Дано:	Решение:
λ = 640 нм = $64\cdot10^{-8}$ м d = 0,9 мм = $9\cdot10^{-4}$ м L = 3,5 м $\frac{к}{x} = ?$	В точке О на экране (рис. 2) будет максимальная освещенность: точка О равноудалена от обоих источников S^I и S^{II}, поэтому разность хода волн S^IO и $S^{II}O$ равна нулю. В произвольной точке экрана $O_к$ максимум освещенности будет наблюдаться, если оптическая разность хода когерентных волн равна целому числу длин волн:

$$\Delta = S_2 - S_1 = к\lambda, \tag{1}$$

где S_2, S_1 – оптические пути интерферирующих волн; λ – длина волны падающего света; $к$ – номер светлой полосы (центральная светлая полоса принята за нулевую). Оптическая разность хода волн Δ = xd/L, где x – расстояние от центральной светлой полосы до $к$-й светлой полосы.

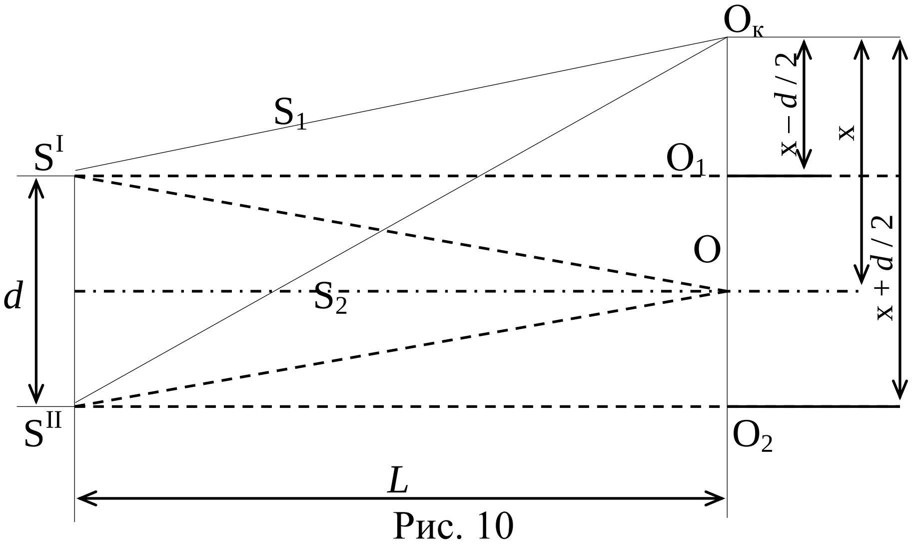


Рис. 10

Учитывая выражение (1), получим:

$$\Delta = \frac{xd}{L} = \kappa\lambda .$$

(2)

Из выражения (2) определяем искомую величину $\frac{\kappa}{x}$ – число светлых интерференционных полос на 1 см длины:

$$\frac{\kappa}{x} = \frac{d}{L\lambda} .$$

Подставим в это выражение числовые значения и получим:

$$\frac{\kappa}{x} = \frac{9 \cdot 10^{-4}}{3{,}5 \cdot 64 \cdot 10^{-8}} = 400 \text{ м}^{-1} ,$$

откуда $\frac{\kappa}{x}$ на 1 см равно 4.

Пример 2

Для устранения отражения света от поверхности линзы на нее наносится тонкая пленка вещества с показателем преломления (n = 1,26), меньшим, чем у стекла (просветление оптики). При какой наименьшей толщине пленки отражение света с длиной волны 0,55 мкм не будет наблюдаться, если угол падения лучей 30°?

Дано:	Решение:
n = 1,26 λ = 0,55 мкм =$5{,}5\cdot10^{-7}$ м i_1 = 30°	
$\dfrac{\kappa}{x} = ?$	

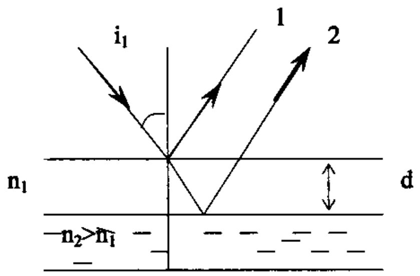


Рис. 3

Оптическая разность хода лучей, отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки (рис. 3), равна

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}\,, \tag{1}$$

где d – толщина пленки; n – показатель преломления пленки; i_1 – угол падения лучей.

В выражении (1) учтено, что отражение лучей на верхней и нижней поверхностях пленки происходит от оптически более плотной среды и поэтому потери полуволны в обоих случаях компенсируют друг друга.

Условие интерференционного минимума

$$\Delta = (2\kappa + 1)\frac{\lambda}{2}. \tag{2}$$

Из (1) и (2) находим

$$d_k = \frac{(2k+1)\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}}. \tag{3}$$

Полагая κ = 0, 1, 2, 3...., получим ряд возможных значений толщины пленки. Минимальная толщина пленки будет при κ = 0.

Подставим в расчетную формулу (3) числовые значения входящих величин: n = 1,26; λ = 0,55 мкм = $5{,}5\cdot10^{-7}$ м; i_1 = 30°; κ = 0.

Произведем вычисления:

$$d = \frac{5{,}5\cdot10^{-7}}{4\sqrt{(1{,}26)^2 - \sin^2 30^\circ}} = 1{,}2\cdot10^{-7}\,\text{м} = 0{,}12\ \text{мкм}.$$

5.2.7. Дифракция света

1) Радиус κ-й зоны Френеля:

- для сферической волны

$$r_\kappa = \sqrt{\frac{ab}{a+b}\kappa\lambda},$$

где a – расстояние между диафрагмой с круглым отверстием и точечным источником света; b – расстояние между диафрагмой и экраном, на котором ведется наблюдение дифракционной картины; κ – номер зоны Френеля; λ – длина волны.

- для плоской волны

$$r_\kappa = \sqrt{b\kappa\lambda}.$$

2) Дифракция света на одной щели при нормальном падении света (дифракция Фраунгофера).

Угол φ отклонения лучей, соответствующих минимуму интенсивности света, определяется из условия

$$a\sin\varphi = \pm 2\kappa\frac{\lambda}{2} = \pm\kappa\lambda, \qquad \kappa = 0, 1, 2 \ldots,$$

где a – ширина щели; κ – порядковый номер минимума; λ – длина волны.

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму интенсивности света, определяется из условия

$$a\sin\varphi = (2\kappa+1)\frac{\lambda}{2}, \qquad \kappa = 0, 1, 2 \ldots,$$

где φ – приближенное значение угла дифракции.

3) Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей.

Условие главных максимумов интенсивности

$$d\sin\varphi = \pm\kappa\lambda, \qquad \kappa = 0, 1, 2 \ldots,$$

где d – период (постоянная решетки); κ – номер главного дифракционного максимума в случае монохроматического света или порядок спектра в случае белого света; φ – угол отклонения лучей, соответствующий максимуму интенсивности.

4) Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \kappa N,$$

где $\Delta\lambda$ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N – число щелей решетки.

5) Формула Вульфа-Брэггов:

$$2d\sin\theta = \kappa\lambda,$$

где θ – угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения, падающего на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле); d – расстояние между атомными плоскостями кристалла.

Примеры решения задач

Пример 1

На дифракционную решетку длиной 10 мм, имеющую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально свет от разрядной трубки. Помещенная вблизи решетки линза проецирует дифракционную картину (рис. 4) на плоский экран *Э*, удаленный от линзы на расстояние 1м. Определить: 1) ширину спектра первого порядка, если границы видимого спектра составляют 780 нм (красный край спектра) и 400 нм (фиолетовый край спектра); 2) число спектральных линий красного цвета, которые теоретически можно наблюдать с помощью данной дифракционной решетки; 3) в спектре какого порядка эта решетка может разрешить две линии с длиной волны, равной 500 нм и 500,1 нм?

Дано:	Решение:
$l_0 = 10$ мм $= 10^{-2}$ м $n = 400$ мм$^{-1} = 4 \cdot 10^5$ м$^{-1}$ $L = 1$ м $\lambda_{кр} = 780$ нм $= 7{,}8 \cdot 10^{-7}$ м $\lambda_ф = 400$ нм $= 4 \cdot 10^{-7}$ м $\lambda_1 = 500$ нм $= 5 \cdot 10^{-7}$ м $\lambda_2 = 500{,}1$ нм $= 5{,}001 \cdot 10^{-7}$ м — $l_1 = ?$ $\kappa_{кр} = ?$ $\kappa = ?$	Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму фиолетового цвета при дифракции света на решетке, определяется из условия $$d \sin\varphi_1 = \kappa\lambda_ф \qquad (\kappa = 1), \qquad (1)$$ следовательно, $$\sin\varphi_1 = \frac{\lambda_ф}{d}. \qquad (2)$$

Аналогично для дифракционного максимума красного цвета получим:

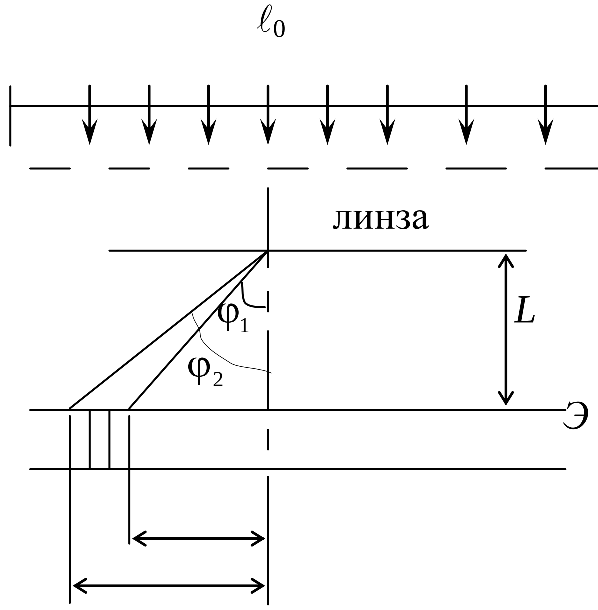
$$\sin\varphi_2 = \frac{\lambda_{кр}}{d}. \qquad (3)$$

Из рис. 4 следует, что расстояние от центра дифракционной картины до фиолетовой спектральной линии равно

$$l_1 = L \operatorname{tg} \varphi_1 \qquad (4)$$

соответственно для красной спектральной линии

$$l_2 = L \operatorname{tg} \varphi_2. \qquad (5)$$



ℓ_1

ℓ_2

Рис. 4

Ширина спектра первого порядка будет $\Delta l = l_2 - l_1$ или с учетом формул (4) и (5)

$$\Delta l = L\,(\mathrm{tg}\ \varphi_2 - \mathrm{tg}\ \varphi_1).$$

(6)

В случае малых углов φ, что имеет место для спектра первого порядка

$$\mathrm{tg}\,\varphi \cong \sin\varphi.$$

Поэтому, подставив выражения (2) и (3) в формулу (6), получим:

$$\Delta l = L\left(\frac{\lambda_{\text{кр}}}{d} - \frac{\lambda_{\text{ф}}}{d}\right).$$

(7)

Зная число штрихов n на 1 мм решетки, найдем период решетки:

$$d = \frac{1}{n}.$$

(8)

Подставляя (8) в формулу (7), получим:

$$\Delta l = nL\left(\lambda_{\text{кр}} - \lambda_{\text{ф}}\right).$$

(9)

Произведем вычисления

$$\Delta l = 1\cdot 4\cdot 10^5\left(7{,}8\cdot 10^{-7} - 4\cdot 10^{-7}\right) = 1{,}52\cdot 10^{-1}\ \text{м} = 15{,}2\ \text{см}.$$

Для определений числа спектральных линий красного цвета найдем максимальное значение κ_{max}, исходя из того, что максимальный угол отклонения лучей не может превышать 90° (sin 90° = 1). Из формулы (1) напишем:

$$\kappa = \frac{d\sin\varphi}{\lambda_{\text{кр}}},$$

следовательно, $\kappa_{max} \le \dfrac{d}{\lambda_{кр}}$. С учетом (8) получим:

$$\kappa_{max} \le \frac{1}{n\lambda_{кр}} = \frac{1}{4\cdot 10^5 \cdot 7{,}8\cdot 10^{-7}} = 3{,}3.$$

Так как число κ_{max} должно быть обязательно целым, то $\kappa_{max}= 3$. Влево и вправо от центра картины будет наблюдаться одинаковое число спектральных линий, равное $2\kappa_{max}$. Таким образом, общее число спектральных линий равно $2\kappa_{max} = 6$.

Так как разрешающая способность дифракционной решетки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \kappa N,$$

(10)

то минимальная разница длин волн двух спектральных линий, разрешаемых решеткой,

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \Delta\lambda = \frac{\lambda}{\kappa N}.$$

(11)

Две спектральные линии разрешены, если

$$\lambda_2 - \lambda_1 \ge \frac{\lambda}{\kappa N}.$$

(12)

Полагая $\lambda = \lambda_1$, получаем

$$\lambda_2 - \lambda_1 \ge \frac{\lambda_1}{\kappa N}.$$

(13)

Из выражения (13) следует, что спектральные линии разрешены в спектрах с порядком

$$\kappa \ge \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1)N}.$$

(14)

Число щелей решетки определяется выражением $N = \frac{l_0}{d}$, или с учетом формулы (8)

$$N = l_0 n. \qquad (15)$$

Подставляя (15) в (14), получим:

$$\kappa \geq \frac{\lambda_1}{(\lambda_2 - \lambda_1) l_0 n}. \qquad (16)$$

Произведем вычисления

$$\kappa \geq \frac{5 \cdot 10^{-7}}{(5{,}001 - 5) \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{5}} = 1{,}25.$$

Так как κ – целое число, то $\kappa \geq 2$.

5.2.8. Поляризация света

1) Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} i_1 = n_{21},$$

где i_1 – угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; $n_{21} = n_2/n_1$ – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

2) Закон Малюса

$$I = I_n \cos^2 \alpha,$$

где I_n – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I – интенсивность этого света после анализатора; α – угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на анализатор и плоскостью пропускания анализатора (плоскостью поляризации).

3) Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

- в твердых телах

$$\varphi = \alpha d,$$

где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

- в растворах

$$\varphi = [\alpha_0]\rho d,$$

где α_0 – удельное вращение; ρ – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Примеры решения задач

Пример 1

Во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света при прохождении через две призмы Николя, угол между плоскостями поляризации которых равен 60°. Потери света в каждой призме составляют 10 % (рис. 5).

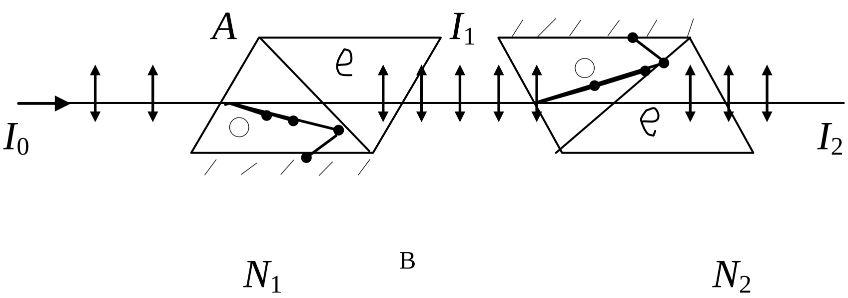


Рис. 5

Дано:	Решение:
$\alpha = 60^{\circ}$ $\kappa = 0{,}1$	В результате двойного лучепреломления естественный луч света, попадая на первую призму Николя (поляризатор), раздваивается на обыкновенный “о” и необыкновенный “е” лучи. Оба луча поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях.
$\dfrac{I_0}{I_2} = ?$	

Обыкновенный луч, подчиняясь закону преломления, преломляется и, подойдя к слою канадского бальзама в призме (граница АВ), испытывает полное отражение и поглощается зачерненной боковой гранью призмы. Необыкновенный луч проходит через призму. Таким образом, на выходе поляризатора получается плоскополяризованный свет, интенсивность которого с учетом потерь на отражение и поглощение света поляризатором равна

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0 (1 - \kappa), \tag{1}$$

где I_0 – интенсивность естественного света, падающего на поляризатор; κ – коэффициент, учитывающий потери на отражение и поглощение.

Плоскополяризованный луч света, падая на вторую призму Николя (анализатор), также расщепляется на обыкновенный и необыкновенный лучи. Обыкновенный луч полностью поглощается призмой. Необыкновенный луч проходит через призму. После прохождения анализатора интенсивность света уменьшается как за счет отражения и поглощения света анализатором, так и из-за несовпадения плоскости поляризации света с плоскостью пропускания анализатора. В соответствии с законом Малюса и с учетом потерь на отражение и преломление света интенсивность равна

$$I_2 = I_1 (1 - \kappa) \cos^2 \alpha, \tag{2}$$

где α – угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора. Подставляя выражение (1) в (2), имеем

$$I_2 = \frac{1}{2} I_0 (1 - \kappa)^2 \cos^2 \alpha. \tag{3}$$

Относительное уменьшение интенсивности света при прохождении света через 2 призмы Николя равно

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1 - \kappa)^2 \cos^2 \alpha}. \tag{4}$$

Подставив в расчетную формулу (4) значение $\kappa = 0{,}1$; $\alpha = 60^{\circ}$, получим:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-0{,}1)^2\cos^2 60^{\circ}} = 9{,}88.$$

5.3. Задание на контрольную работу № 4

401. Точка совершает гармонические колебания с периодом 2 с. Амплитуда колебаний 10 см. Найти смещение, скорость и ускорение точки спустя 0,2 с после ее прохождения через положение равновесия. Начало колебаний связано с положением равновесия.

402. Чему равно отношение кинетической энергии точки, совершающей гармонические колебания, к ее потенциальной энергии для момента времени $t = T/12$, где T – период колебаний?

403. Пружинный маятник совершает гармонические колебания с амплитудой смещения 0,04 м. При смещении 0,03 м сила упругости равна $9\cdot 10^{-5}$ Н. Определить потенциальную и кинетическую энергии, соответствующие данному смещению, и полную энергию маятника.

404. Определить максимальное ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой 15 см, если её наибольшая скорость равна 30 см/с. Написать уравнение колебаний, если начальная фаза равна 60°.

405. Максимальная скорость точки, совершающей гармонические колебания равна 10 см/с, максимальное ускорение 100 см/с^2. Найти период и амплитуду колебаний.

406.Материальная точка массой 0,1 г совершает гармонические колебания с амплитудой 2 см и периодом 2 с. Начальная фаза колебаний равна нулю. Написать уравнение этих колебаний и определить максимальное значение скорости, а также максимальную силу, действующую на точку.

407. Материальная точка массой 20 г совершает колебания, уравнение которых имеет вид $x = 0{,}3\cos(\frac{\pi}{6}t + \frac{\pi}{3})$, где смещение x – в метрах. Определить максимальные значения скорости и ускорения точки, полную механическую энергию точки и силу, действующую на точку в момент времени 2 с.

408. Материальная точка массой 0,01 кг совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид x=0,05sin6πt (смещение в сантиметрах, время в секундах). Найти возвращающую силу в момент времени $t = 5$ с, а также максимальную кинетическую энергию точки.

409. Найти максимальную кинетическую энергию материальной точки массой 2 г, совершающей гармонические колебания с амплитудой 4 см и частотой 5 Гц. Написать уравнение колебаний, если начальная фаза 30^{o}.

410. Полная энергия тела, совершающего гармонические колебания, равна $9 \cdot 10^{-7}$ Дж. Амплитуда колебаний $2 \cdot 10^{-2}$ м. Определить смещение, при котором на тело действует сила $2{,}25 \cdot 10^{-5}$ Н, и максимальную силу.

411. Период затухающих колебаний 4 с, логарифмический декремент затухания 1,6, начальная фаза равна нулю. Смещение точки при $t = \frac{T}{4}$ равна 4,5 см. Написать уравнение колебаний точки и построить его график в пределах двух периодов.

412. Уравнение колебаний тела имеет вид $x(t) = 0{,}3e^{-0{,}3t}\cos 5t$. Определить моменты времени, в которые смещение максимально; вычислить добротность колебательной системы.

413. К вертикальной спиральной пружине подвешен стальной шарик радиусом 2 см. Циклическая частота его колебаний в воздухе 5 с$^{-1}$, а в некоторой жидкости – 4,06 с$^{-1}$. Начальное смещение 5 см. Определить коэффициент вязкости жидкости, записать уравнение колебаний шарика.

414. Гиря массой 0,5 кг подвешена к спиральной пружине жёсткостью 20 Н/м. и совершает колебания в некоторой среде. Логарифмический

декремент затухания равен 0,004. Определить число полных колебаний, через которое амплитуда колебаний уменьшится в 2 раза. Через какое время это произойдёт?

415. Чему равен логарифмический декремент затухания математического маятника, если за 1 минуту амплитуда колебаний уменьшилась в 2 раза? Длина маятника 1 м.

416. Коэффициент затухания успокоителя колебаний стрелки измерительного прибора равен 2c^{-1}. Через один период амплитуда колебаний уменьшилась в два раза. Через сколько колебаний амплитуда составит 1 % от первоначальной?

417. Тело массой 1г совершает затухающие колебания с частотой 3,14 c^{-1}. В течение 50 с тело потеряло 80 % своей механической энергии. Определить коэффициент затухания, коэффициент сопротивления среды и добротность системы.

418. Определить период затухающих колебаний, если период собственных колебаний системы равен 1с и логарифмический декремент затухания равен 0,628.

419. Логарифмический декремент затухания маятника равен 0,003. Определить число колебаний, которое должен сделать маятник, чтобы амплитуда уменьшилась в два раза.

420. За один период колебаний система теряет 97 % энергии. Во сколько раз изменится амплитуда колебаний за это время? За какое время амплитуда уменьшится в 10 раз, если частота колебаний равна 14 c^{-1}?

421. Катушка с индуктивностью 30 мГн и резистор включены последовательно в цепь переменного тока с действующим значением напряжения 220 В и частотой 50 Гц. Найти сопротивление резистора и действующее значение напряжения на нем, если сдвиг фаз между колебаниями силы тока и напряжения $\pi/3$.

422. В цепь переменного тока с действующим значением напряжения 220 В и частотой 50 Гц включены последовательно конденсатор

электроемкостью 1 мкФ и реостат с активным сопротивлением 300 Ом. Найти полное сопротивление цепи и действующее значение силы тока.

423. В цепь переменного тока с действующим значением напряжения 220 В и частотой 50 Гц включены последовательно резистор сопротивлением 100 Ом, конденсатор электроемкостью 32 мкФ и катушка индуктивностью 640 мГн. Найти действующее значение силы тока, сдвиг фаз между силой тока и напряжением и потребляемую мощность.

424. Катушка длиной 50 см и площадью поперечного сечения 10 см^2 включена в цепь переменного тока с частотой 50 Гц. Число витков катушки 3000. Найти активное сопротивление катушки, если сдвиг фаз между силой тока и напряжением 60°.

425. Переменное напряжение, действующее значение которого 220 В, а частота 50 Гц, подано на катушку без сердечника индуктивностью 31,8 мГн и активным сопротивлением 10 Ом. Найти количество теплоты, выделяющейся в катушке за одну секунду.

426. К зажимам генератора присоединен конденсатор электроемкостью 0,15 мкФ. Определить амплитудное значение напряжения на зажимах, если амплитудное значение силы тока 3,3 А, а частота тока составляет 5 кГц.

427. В катушке с активным сопротивлением 10 Ом при частоте переменного тока 50 Гц сдвиг фаз между колебаниями напряжения и силы тока равен 60^{o}. Определить индуктивность катушки.

428. Электропечь, сопротивление которой 22 Ом, питается от генератора переменного тока. Определить количество теплоты, выделяемое печью за 1 час, если амплитуда силы тока 10 А.

429. Сила тока в колебательном контуре изменяется со временем по закону I = 0,02sin400πt (А). Индуктивность контура 0,5 Гн. Найти период собственных колебаний в контуре, электроемкость контура, максимальную энергию электрического и магнитного полей.

430. Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Определить частоту колебаний, возникающих в контуре,

если максимальная сила тока в катушке индуктивности 1,2 А, максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 1200 В, полная энергия контура 1,1 мДж.

431.Два одинаково направленных гармонических колебания с одинаковой частотой и амплитудами 3 см и 5 см складываются в одно колебание с амплитудой 7 см. Найти разность фаз складываемых колебаний.

432. Точка участвует в двух колебаниях одинакового периода с одинаковыми начальными фазами. Амплитуды колебаний 3 см и 4 см. Найти амплитуду результирующего колебания, если: 1) колебания совершаются в одном направлении; 2) колебания взаимно перпендикулярны.

433. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях, уравнения которых имеют вид $x = \sin(t/2)$, $y = \cos t$. Найти уравнение траектории точки. Построить траекторию с соблюдением масштаба и указать направление движения точки.

434. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях $x = \sin\pi t$, $y = 4\sin(\pi t + \pi)$. Найти траекторию движения точки, построить ее с соблюдением масштаба.

435. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, уравнения которых $x = 3\cos t$, $y = 2\sin t$. Найти траекторию точки, построить ее и указать направление движения точки.

436. Складываются два колебания одного направления с одинаковыми периодами, равными 1,5 с, и амплитудами, равными 2 см. Начальная фаза первого колебания равна $\frac{\pi}{2}$, второго $-\frac{\pi}{3}$.Определить амплитуду и начальную фазу результирующего колебания. Записать его уравнение и построить векторную диаграмму.

437. Движение точки задано уравнениями $x = 10\sin\omega t$ и $y = 5\sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$. $\omega = 2\ \text{с}^{-1}$. Найти уравнение траектории. Вычислить скорость точки в момент времени 0,5 с.

438. Материальная точка участвует в двух колебаниях $x = 10\cos 3t$ и $y = 10\sin 3t$. Записать уравнение траектории, выражения для скорости и ускорения точки.

439. Смещение материальной точки по двум взаимно перпендикулярным направлениям описывается уравнениями $x = \sin 2t$ и $y = 5\sin(2t + 1{,}57)$. Записать уравнение траектории; найти зависимость линейной скорости от времени; вычислить максимальную скорость.

440. Складываются три колебания одного направления с одинаковыми периодами, равными 1,5 с; амплитудами, равными 3 см; фазами $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = \frac{\pi}{3}$, $\varphi_3 = \frac{2\pi}{3}$. Построить векторную диаграмму положения амплитуд. Определить из чертежа амплитуду и начальную фазу результирующего колебания, записать его уравнение.

441. Уравнение плоской звуковой волны, распространяющейся вдоль оси x, имеет вид $y = 60\cos(1800t - 5{,}3x)$, где смещение y – в микрометрах. Определить длину волны, скорость распространения волны и максимальную скорость колебаний частиц среды.

442. Звуковые колебания, имеющие частоту 500 Гц и амплитуду 0,25 мм, распространяются в воздухе. Длина волны 70 см. Найти скорость распространения волны и максимальную скорость колебаний частиц воздуха.

443. Найти смещение от положения равновесия и скорость точки, отстоящей от источника колебаний на расстоянии $\lambda/12$, для момента времени $T/6$. Амплитуда колебания 0,05 м.

444. Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний частотой 200 Гц. Амплитуда колебаний источника равна 4 мм. Написать уравнение волны, если в начальный момент смещение точек максимально. Найти смещение точек среды на расстоянии 1 м от источника в момент времени 0,1 с. Скорость звуковой волны 300 м/с. Затуханием пренебречь.

445. В воздухе распространяется плоская акустическая волна со скоростью 340 м/с. Смещение точек волны описывается уравнением

$y(x,t) = 0{,}005\sin(1256t - 3{,}8x)$ см. Определить длину волны, амплитуду колебаний, скорость колебаний молекул воздуха, интенсивность волны.

446. Плоская звуковая волна имеет период 3 мс, амплитуду 0,2 мм и длину волны 1,2 м. Для точек среды, находящихся от источника колебаний на расстоянии 2 м, найти: смещение, скорость, ускорение точек в момент 7 мс.

447. Входной контур радиоприемника состоит из катушки индуктивностью 2 мГн и плоского конденсатора с площадью пластин 10 см^2 и расстоянием между ними 2 мм. Пространство между пластинами заполнено слюдой с диэлектрической проницаемостью 7. На какую длину волны настроен радиоприемник?

448. Резонанс в колебательном контуре с конденсатором электроемкостью 1 мкФ наступает при частоте 4000 Гц. Если параллельно первому конденсатору подключить второй конденсатор, то резонансная частота становится равной 2000 Гц. Определить электроемкость второго конденсатора.

449. В однородной изотропной немагнитной среде с диэлектрической проницаемостью равной 3 распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны 10 В/м. Найти амплитуду напряженности магнитного поля и фазовую скорость волны.

450. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Амплитуда напряженности электрического поля волны 50 мВ/м. Найти амплитуду напряженности магнитного поля и среднее за период колебаний значение плотности потока энергии.

451. Расстояние от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной 1 см укладывается 10 темных интерференционных полос. Длина волны монохроматического света равна 0,7 мкм.

452. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны 590 нм. Свет падает по нормали

к поверхности пластины. Между линзой и пластинкой находится жидкость с показателем преломления 1,33. Определить толщину зазора в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

453. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 0,8 мм, длина волны света 0,7 мкм. На каком расстоянии от щелей следует расположить экран, чтобы ширина интерференционной полосы оказалась равной 2 мм?

454. Радиус второго темного кольца Ньютона в отраженном свете равен 0,4 мм. Определить радиус кривизны плосковыпуклой линзы, взятой для опыта, если она освещается монохроматическим светом с длиной волны 0,5 мкм.

455. Расстояние между двумя когерентными источниками света равно 0,2 мм. Они удалены от экрана на расстояние 2 м. Найти длину волны, излучаемую когерентными источниками, если расстояние на экране между третьим и пятым минимумами интерференционной картины равно 1,2 см.

456. Между стеклянной пластиной и лежащей на ней плосковыпуклой линзой находится жидкость. Найти показатель преломления жидкости, если радиус третьего темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете с длиной волны 0,5 мкм равен 0,85 мм. Радиус кривизны линзы равен 0,64 м.

457. В опыте Юнга на пути одного из лучей помещена тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная полоса сместилась в положение занятое 5-й светлой полосой (не считая центральной). Луч падает на пластинку перпендикулярно. Показатель преломления пластинки 1,5. Длина волны $6 \cdot 10^{-7}$ м. Какова толщина пластинки?

458. На стеклянную пластинку нанесен слой прозрачного вещества с показателем преломления 1,3. На пластинку падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 640 нм. Какую минимальную толщину должен иметь слой, чтобы отраженные лучи были максимально ослаблены в результате интерференции?

459. Входное окно фотоприемника покрыто тонкой пленкой, материал

которой имеет показатель преломления 1,25. Толщина пленки равна 0,20 мкм. На какой наибольшей длине волны достигается максимальное просветление входного окна фотоприемника?

460. На пути одного из лучей в опыте Юнга поставлена трубка длиной 2 м с плоскопараллельными основаниями. При заполнении трубки хлором вся интерференционная картина на экране сместилась на 20 полос. Вычислить показатель преломления хлора, считая, что показатель преломления воздуха 1,000276. Длина волны 589 нм.

461. Точечный источник света с длиной волны 0,5 мкм расположен на расстоянии 1 м перед диафрагмой с круглым отверстием радиусом 1 мм. Найти расстояние от диафрагмы до точки наблюдения, находящейся на оси отверстия, для которой число зон Френеля в отверстии равно 3. Темное или светлое пятно получится в центре дифракционной картины, если в месте наблюдения поместить экран?

462. На щель шириной 0,1 мм нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника (длина волны равна 0,5 мкм). Определить ширину центрального максимума в дифракционной картине, наблюдаемой на экране, удаленном от щели на расстояние 3 м.

463. На дифракционную решетку, содержащую 250 штрихов на 1 мм, падает нормально свет с длиной волны 0,6 мкм. Найти общее число дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. Определить угол, под которым наблюдается последний дифракционный максимум.

464. Диафрагма с круглым отверстием диаметром 2,4 мм расположена на расстоянии 1 м от точечного источника света и 1,5 м от экрана. Длина волны источника света 0,6 мкм. Сколько зон Френеля укладывается в отверстии? Темное или светлое пятно получится в центре дифракционной картины?

465. Дифракционная решетка имеет такой период, что максимум первого порядка для длины волны 0,7 мкм соответствует углу 30^{o}. Какова

длина волны света, который в спектре второго порядка имеет максимум под углом 45^o?

466. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения. Расстояние между атомными плоскостями равно 280 пм. Под углом 65° к атомной плоскости наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Определить длину волны рентгеновского излучения.

467. Какую разность длин волн может разрешить дифракционная решетка длиной 2 см и периодом 5 мкм в области красных лучей (длина волны 0,7 мкм) в спектре второго порядка? Сколько дифракционных максимумов можно наблюдать с помощью этой решетки в случае падения на решетку монохроматического света с длиной волны 0,7 мкм?

468. На дифракционную решетку, содержащую 600 штрихов на 1 мм, падает нормально белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 1,2 м. Границы видимого спектра составляют 0,4 мкм – 0,78 мкм.

469. Расстояние между атомными плоскостями кристалла кальцита равно 0,3 нм. Определить, при какой длине волны рентгеновского излучения второй дифракционный максимум будет наблюдаться при отражении лучей под углом 30° к поверхности кристалла.

470. На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Спектры третьего и четвертого порядков частично накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре четвертого порядка, накладывается красная граница (длина волны 0,78 мкм) спектра третьего порядка?

471. Чему равен угол между плоскостями поляризации двух николей, если интенсивность естественного света, прошедшего через эту систему, уменьшилась в 5,4 раза? Считать, что каждый николь поглощает и отражает 14 % падающего на него света.

472. Угол максимальной поляризации при отражении света от кристалла каменной соли равен 60°. Определить скорость распространения света в этом кристалле.

473. Угол между плоскостями поляризации николей равен 30°. Интенсивность естественного света, прошедшего такую систему, уменьшилась в 5 раз. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения света в каждом из николей, считая их одинаковыми.

474. Раствор сахара с концентрацией, равной 200 кг/м^3, налитый в стеклянную трубку, поворачивает плоскость поляризации света, проходящего через раствор, на угол 45°. Другой раствор, налитый в такую же трубку, поворачивает плоскость поляризации на угол 30°. Определить концентрацию этого раствора.

475. Между двумя параллельными николями помещают кварцевую пластинку толщиной 1 мм, вырезанную параллельно оптической оси. При этом плоскость поляризации монохроматического света, падающего на поляризатор, повернулась на угол 20°. При какой минимальной толщине пластинки свет не пройдет через анализатор?

476. При прохождении естественного света через два николя, угол между плоскостями поляризации которых составляет 45°, происходит ослабление света. Коэффициенты поглощения света в поляризаторе и анализаторе соответственно равны 0,08 и 0,1. Найти, во сколько раз изменилась интенсивность света после прохождения этой системы.

477. Предельный угол полного внутреннего отражения луча на границе жидкости с воздухом равен 45°. Каким должен быть угол падения луча из воздуха на поверхность жидкости, чтобы отраженный луч был полностью поляризован?

478. Пластинку кварца толщиной d_1 = 2 мм, вырезанную перпендикулярно оптической оси, поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации света повернулась на

угол $\varphi = 53^o$. Определить толщину d_2 пластинки, при которой данный монохроматический свет не проходит через анализатор.

479. Между двумя николями установлена кварцевая пластинка толщиной 1 мм. Какой угол между главными плоскостями николей нужно установить, чтобы интенсивность света после прохождения через николи уменьшилась в 10 раз? Поглощением света в николях и кварцевой пластинке пренебречь. Постоянная вращения кварца равна 27 град/мм.

480. Луч света переходит из воды в алмаз так, что луч, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол между падающим и преломленным лучами.