

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

# КОЛЕБАНИЯ, ВОЛНЫ, ОПТИКА

Методические указания и контрольные задания  
для студентов I–II курсов РЭФ, ФЭН, ФТФ дневного отделения

НОВОСИБИРСК  
2010

Составитель

*Э.А. Кошелев*, канд. физ.– мат. наук, доцент

Рецензент

*В.Ф. Ким*, канд. физ.-мат. наук, доцент

Работа подготовлена на кафедре  
прикладной и теоретической физики

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее издание предназначено для подготовки студентов по соответствующим разделам общего курса физики. Самостоятельное решение задач – необходимое и обязательное средство усвоения учебного материала. При оформлении решений индивидуального задания студент должен обосновать применение конкретных физических законов, выполнить соответствующие математические преобразования и выкладки, провести вычисления и провести анализ размерностей полученного результата. Доведение решения задачи до численного результата – обязательное условие выполнения индивидуального задания, необходимый элемент инженерной подготовки. Как показывает опыт, очень часто при выполнении уже численных выкладок студенты получают «странные» результаты, поэтому проверка результата на соответствие здравому смыслу – простой и качественный способ. Полезно проводить асимптотическую проверку решения – устремление определенного параметра к нулю или бесконечности для проверки его соответствия результатам, представленным в общем учебном курсе.

При решении задач рекомендуется все исходные величины представить в системе единиц СИ. При необходимости следует иллюстрировать решение соответствующим рисунком. Задачи по уровню сложности соответствуют традиционному общему курсу физики. Для решения задач рекомендуется использовать известные учебные пособия.

### **Основная литература**

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. М.: Астрель, 2001 (и последующие годы издания).
2. *Иродов И.Е.* Основные законы электромагнетизма. М.: Высш. шк., 2002.
3. *Иродов И.Е.* Волновые процессы. Основные законы. М.: Высш. шк., 2002.
4. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.

### **Дополнительная литература**

1. *Гинзбург В.Л., Левин Л.М., Сивухин Д.В., Яковлев И.А.* Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1976.
2. *Савельев И.В.* Сборник вопросов и задач по общей физике. М.: Наука, 1982.
3. *Пейн Г.* Физика колебаний и волн. М.: Мир, 1976.
4. *Serway R.A.* Physics. Thomson Brooks/Cole. 2004.

# I. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ И ФОРМУЛЫ

Электрическая постоянная  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$  м/Ф

Магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м

Интенсивность звука на пороге слышимости  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>

Скорость света в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с

## Механические колебания

1. Уравнение свободных гармонических колебаний

$$x = A \cos(\omega_0 t + \alpha_0) \text{ или } x = A \sin(\omega_0 t + \alpha_0),$$

где  $x$  – смещение колеблющейся точки от положения равновесия;

$A$  – амплитуда;  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$  – циклическая частота,  $\alpha_0$  – начальная фаза колебаний.

2. При сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковой частоты получаются колебания той же частоты, амплитуда которых  $A$  и начальная фаза  $\varphi_0$  определяются уравнениями

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

$$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{A_1 \sin \alpha_1 + A_2 \sin \alpha_2}{A_1 \cos \alpha_1 + A_2 \cos \alpha_2},$$

где  $A_1, A_2$  – амплитуды слагаемых колебаний;  $\alpha_1, \alpha_2$  – их начальные фазы.

2. Сила, действующая на тело при свободном гармоническом колебании (*квазиупругая сила*):

$$F_{\text{упр}} = -kx = -m\omega_0^2 x.$$

3. Циклическая частота  $\omega_0$  и период колебаний  $T$  гармонического осциллятора:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

4. Период колебаний физического маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}},$$

где  $J$  – момент инерции маятника относительно оси колебаний;  $l$  – расстояние от оси до его центра масс.

5. Полная энергия гармонического осциллятора:

$$W = \frac{m\omega_0^2 A^2}{2}.$$

6. При наличии в колебательной системе силы сопротивления  $F_{\text{сопр}} = -r\upsilon$ , где  $r$  – коэффициент сопротивления,  $\upsilon$  – скорость тела, уравнение смещения:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos \omega t + \alpha_0.$$

Здесь  $A = A_0 e^{-\beta t}$  – амплитуда затухающих колебаний;  $\beta = \frac{r}{2m}$  – коэффициент затухания;  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  – циклическая частота затухающих колебаний.

7. Логарифмический декремент затухания:

$$\theta = \ln \frac{A_1}{A_2} = \beta T,$$

где  $A_1, A_2$  – амплитуды двух последовательных колебаний.

8. Добротность колебательной системы:

$$Q = \frac{\pi}{\theta} = \frac{\pi}{\beta T}.$$

9. Амплитуда вынужденных колебаний, совершаемых под действием внешней периодической силы  $F = F_0 \cos \Omega t$ :

$$A = \frac{F_0 / m}{\sqrt{\omega_0^2 - \Omega^2}^2 + 4\beta^2 \Omega^2}.$$

10. Резонансная циклическая частота вынужденных колебаний:

$$\Omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}.$$

11. Амплитуда вынужденных колебаний при резонансе:

$$A_{\text{рез.}} = \frac{F_0}{2m\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{F_0}{2m\beta\omega}.$$

## Электромагнитные колебания

1. Колебания электрического заряда в последовательном колебательном контуре при отсутствии сопротивления гармонические:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \alpha_0) \quad \text{или} \quad q = q_m \sin(\omega_0 t + \alpha_0),$$

где  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ,  $L$  – индуктивность,  $C$  – сопротивление контура.

2. При наличии сопротивления  $R$  в контуре колебания заряда, напряжения и силы тока в последовательном контуре:

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha),$$

$$U_C = \frac{q_m}{C} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha),$$

$$I = q_m \omega e^{-\beta t} \cos(\omega t + \psi),$$

где  $\beta = \frac{R}{2L}$  – коэффициент затухания,  $\omega = \sqrt{LC - \frac{R^2}{4L^2}}$  – циклическая частота затухающих колебаний,  $\psi$  – сдвиг фазы колебания силы тока относительно напряжения  $\left(\frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \pi\right)$ .

3. Логарифмический декремент затухания колебаний в контуре:

$$\theta = \ln \frac{U_{C_1}}{U_{C_2}} = \beta T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4L}{R^2 C} - 1}}.$$

4. Добротность контура:

$$Q = \frac{\pi}{\beta T} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4L}{R^2 C} - 1}.$$

5. Если в последовательном колебательном контуре действует ЭДС с переменным напряжением  $U = U_m \cos \Omega t$ , то в цепи контура устанавливаются вынужденные колебания тока той же частоты:

$$I = I_m \cos(\Omega t - \varphi),$$

где  $\varphi$  – сдвиг фазы колебания тока относительно ЭДС.

6. Амплитуда колебания силы тока определяется законом Ома для цепи переменного тока:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + X_L - X_C}^2} = \frac{U_m}{Z},$$

где  $X_C = \frac{1}{\Omega C}$  – емкостное сопротивление,  $X_L = \Omega L$  – индуктивное сопротивление,  $Z = \sqrt{R^2 + X_L - X_C}^2$  – комплексное сопротивление цепи.



7. Сдвиг фазы колебания  $\varphi$  между силой тока и напряжением определяется функциями

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

8. Резонансная частота колебаний в последовательном контуре:

$$\Omega_{\text{рез}} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

9. Мощность, выделяющаяся в цепи переменного тока:

$$P = \frac{I_m U_m}{2} \cos\varphi.$$

## Волны

1. Уравнение бегущей волны

$$\xi(r, t) = A(r) \cos(\omega t - kr),$$

где  $\xi(r, t)$  – физический параметр, изменяющийся в волне (смещение частиц, давление, плотность и др.),  $A(r)$  – амплитуда (при  $A = \text{const}$  волна плоская),  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число.

2. Длина волны  $\lambda$ , ее скорость  $c$  и период колебаний в волне связаны соотношением  $\lambda = cT$ .

3. При интерференции двух когерентных волн амплитуда волны достигает максимального значения при

$$\Delta = r_2 - r_1 = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

и минимального значения при:

$$\Delta = r_2 - r_1 = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

4. Скорость звуковой волны в тонких стержнях

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где  $E$  – модуль упругости,  $\rho$  – плотность материала стержня.

## 5. Скорость звука в газах

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}},$$

где  $\gamma$  – показатель адиабаты газа,  $R$  – газовая постоянная,  $\mu$  – молярная масса,  $T$  – температура.

6. Амплитуда звукового давления  $\Delta P_0$  и амплитуда скорости частиц  $v$  в звуковой волне связаны соотношением

$$\Delta P_0 = \rho v c.$$

7. Интенсивность звука  $I$  (энергия, переносимая волной, в единицу времени через единичную площадку)

$$I = \frac{(\Delta P_0)^2}{2\rho c}.$$

8. Уровень интенсивности звука (в децибелах):

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0},$$

где  $I_0$  – интенсивность звука на пороге слышимости при частоте  $\nu = 1$  кГц.

9. Амплитуды колебания напряженности электрического поля  $E_m$  и напряженности магнитного поля  $H_m$  в электромагнитной волне связаны соотношением

$$E_m \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} = H_m \sqrt{\mu_0 \mu},$$

где  $\varepsilon$ ,  $\mu$  – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

10. Скорость электромагнитной волны:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}}.$$

11. Если источник и приемник волн перемещаются относительно среды, в которой распространяется волна, то частота колебаний  $\nu$ , ре-

гистрируемая приемником, связана с частотой колебаний в источнике  $\nu_0$  (эффект Доплера):

$$\nu = \nu_0 \frac{c + v}{c - u},$$

где  $u$  – скорость приемника,  $v$  – скорость источника волн. Величины  $u$ ,  $v$  – алгебраические:  $u > 0$ , если источник движется к приемнику;  $u < 0$ , если источник движется от приемника;  $v > 0$ , если приемник движется к источнику;  $v < 0$ , если приемник движется от источника.

## Оптика

1. Оптическая длина пути светового луча в однородной среде с показателем преломления  $n$ :

$$L = ns,$$

где  $n$  – показатель преломления среды.

2. Оптическая разность хода лучей света:

$$\Delta = L_2 - L_1 = n_2 s_2 - n_1 s_1.$$

3. Результат интерференции двух когерентных лучей света определяется величиной оптической разности хода:

$$\Delta = \pm m \frac{\lambda_0}{2}$$

при  $m$  четном – максимум, при  $m$  нечетном – минимум интерференции, где  $\lambda_0$  – длина волны света в вакууме,  $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

4. Оптическая разность хода световых лучей, отраженных от двух поверхностей тонкой пластинки, по обе стороны которой находятся одинаковые среды:

$$\Delta = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda_0}{2},$$

где  $h$  – толщина пластинки,  $i$  – угол падения луча света на поверхность пластинки.

5. Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_m = \sqrt{mR\lambda} \quad (R - \text{радиус кривизны линзы}).$$

6. Радиус зон Френеля для сферической поверхности световой волны, испускаемой точечным источником света:

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $a$  – расстояние от источника до волновой поверхности,  $b$  – расстояние от волновой поверхности до экрана.

7. При дифракции в параллельных лучах монохроматического света от плоской щели положение минимумов освещенности на экране определяется углом дифракции  $\varphi$ :

$$b \sin \varphi = \pm m\lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $b$  – ширина щели.

8. При нормальном падении света на дифракционную решетку положение главных максимумов определяется углом дифракции  $\varphi$ :

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

где  $d$  – период дифракционной решетки.

9. Разрешающая сила дифракционной решетки:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = mN,$$

где  $\delta\lambda$  – наименьшая разность длин волн двух близких спектральных линий, воспринимаемых при наблюдении отдельно;  $m$  – порядок спектра;  $N$  – общее число щелей дифракционной решетки.

10. Разрешающая сила объектива оптического прибора:

$$R = \frac{1}{\delta\varphi} = \frac{D}{1.22\lambda},$$

где  $\delta\varphi$  – наименьшее угловое расстояние между двумя точками, воспринимаемыми при наблюдении отдельно;  $D$  – диаметр объектива.

11. Угол полной поляризации при отражении света от границы двух диэлектриков (угол Брюстера):

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где  $n_{21}$  – относительный показатель преломления.

12. Интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через систему двух поляроидов (закон Малюса):

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi ,$$

где  $I_2$  – интенсивность света, прошедшего через анализатор;  $I_1$  – интенсивность света, прошедшего через поляризатор;  $\varphi$  – угол между оптическими осями поляроидов.

13. Степень поляризации света:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} ,$$

где  $I_{\max}$ ,  $I_{\min}$  – максимальная и минимальная интенсивности света, соответствующие двум взаимно-перпендикулярным направлениям колебаний в световой волне.

## II. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 1.** Физический маятник в виде однородного стержня длиной  $L = 1$  м колеблется относительно горизонтальной оси, проходящей через один из концов стержня. Найти период колебаний.

*Решение.* Период колебаний физического маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}} .$$

Поскольку стержень однородный, то расстояние от центра масс стержня до оси колебаний  $l = L/2$ . Момент инерции определяем по теореме Штейнера:

$$J = J_0 + m\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{mL^2}{3} .$$

Тогда период колебаний маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mL^2}{3} \frac{2}{mgL}} = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}} \approx 1.63 \text{ с} .$$

**Пример 2.** Груз массы  $m = 0,5$  кг, подвешенный на пружине жесткостью  $k = 32$  Н/м, совершает затухающие колебания. После  $N = 10$  колебаний амплитуда уменьшилась в 2 раза. Определить период колебаний, логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

*Решение.* Период колебаний для затухающих колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} ,$$

где собственная частота колебаний  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$  .

Коэффициент затухания  $\beta$  находим из определения логарифмического декремента затухания  $\theta = \beta T$ :

$$\ln \frac{A_0}{A} = \beta t = \beta T N = \theta N.$$

Следовательно декремент затухания  $\theta = \frac{\ln 2}{N} \cong 0.069$ . Добротность колебательной системы  $Q = \pi / \theta \cong 45.3$ . Период колебаний определяем, решая совместно уравнения

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{1}{T^2 N^2} \ln^2 \frac{A_0}{A}}}.$$

Следовательно:

$$T = \sqrt{\frac{m}{k}} \sqrt{4\pi^2 + \frac{\ln^2 2}{N^2}} \cong 0.79 \text{ с}.$$

**Пример 3.** В цепь переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц включены последовательно индуктивность  $L = 0,8$  мГн и емкость

$C = 10$  мкФ. Общее сопротивление цепи  $R = 20$  Ом. Найти силу тока в цепи, напряжение на всех элементах цепи и мощность, выделяющуюся в цепи.

*Решение.* Условия задачи соответствуют действию промышленного переменного тока с действующим (эффективным) напряжением  $U_{\text{эфф}} = 220$  В. Определим сопротивление элементов цепи. Емкостное сопротивление:

$$X_C = \frac{1}{\Omega C} = \frac{1}{2\pi \nu C} \cong 318 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление:

$$X_L = \Omega L = 2\pi \nu L \cong 251 \text{ Ом}.$$

Комплексное сопротивление всей цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L - X_C^2} \cong 70 \text{ Ом.}$$

Действующее значение силы тока в цепи определяется законом Ома:

$$I_{\text{эфф}} = \frac{U_{\text{эфф}}}{Z} \cong 3.14 \text{ А. А.}$$

Падение напряжения на элементах цепи:

$$U_R = I_{\text{эфф}} R \cong 62,9 \text{ В}, U_C = I_{\text{эфф}} X_C \cong 998,5 \text{ В}, U_L = I_{\text{эфф}} X_L \cong 788 \text{ В}.$$

Заметим, сумма всех напряжений на элементах цепи значительно больше величины действующего напряжения, что возможно только в цепях переменного тока. Для определения мощности, выделяющейся в цепи, необходимо найти сдвиг фазы между колебаниями тока и напряжения  $\cos \varphi = R / Z \cong 0,286$ , что соответствует углу сдвига фазы  $\varphi \cong 73,4^\circ$ . И мощность, выделяющаяся в цепи:

$$P = U_{\text{эфф}} I_{\text{эфф}} \cos \varphi \cong 197 \text{ Вт}.$$

**Пример 4.** Определить частоту основного тона звуковой волны, образующейся при колебаниях воздуха в органной трубе длиной  $l = 1$  м в двух случаях: а) труба закрыта с обоих концов; б) труба открыта с одного конца. Температура воздуха  $T = 17^\circ \text{C}$ .

*Решение.* Частота колебаний столба воздуха в трубе определяется числом стоячих волн. Для закрытой трубы  $l = m\lambda_{\text{ст}}$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ):

$$v = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2\lambda_{\text{ст}}} = \frac{mc}{2l}.$$

Для трубы, открытой с одного конца  $l = m\lambda_{\text{ст}} - \frac{\lambda_{\text{ст}}}{2} = 2m - 1 \frac{\lambda_{\text{ст}}}{2}$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ):

$$v = \frac{2m - 1}{2} \frac{c}{l}.$$



Основной тон колебаний соответствует минимальной частоте, т. е. в обоих случаях  $m = 1$ . Скорость звука согласно условию задачи:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8,3 \cdot 290}{0,029}} \cong 341 \text{ м/с.}$$

Для закрытой трубы:

$$v = \frac{c}{2l} \cong 170,5 \text{ Гц.}$$

Для трубы, открытой с одного конца:

$$v = \frac{c}{4l} \cong 85,3 \text{ Гц.}$$

**Пример 5.** На расстоянии  $r_1 = 10$  м интенсивность звуковой волны в воздухе, распространяющейся от точечного источника,  $L_1 = 40$  дБ. Найти наибольшее расстояние, на котором звук еще слышен.

*Решение.* Поскольку источник звука точечный, фронт звуковой волны сферический. Значит, интенсивность волны убывает с расстоянием по закону

$$I = \frac{N}{4\pi r^2}$$

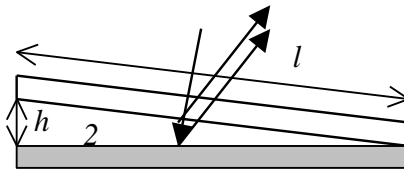
Соответственно уровень интенсивности звуковой волны:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \left( \frac{r}{r_1} \right)^2.$$

Следовательно, искомое расстояние в соответствии с условием задачи:

$$r = r_1 10^{\frac{L_1}{20}} = 10 \cdot 10^2 = 1 \text{ км.}$$

**Пример 6.** Между двумя тонкими плоскопараллельными пластинками образован воздушный клин (см. рисунок). На пластинки нормально падает монохроматический свет ( $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ ). Найти угол между пластинками, если в отраженном свете на длине  $l = 1 \text{ см}$  наблюдается  $N = 20$  интерференционных полос.



*Решение.* В данном случае интерференция наблюдается между лучами, отраженными от нижней поверхности первой пластинки и от верхней поверхности нижней пластинки. Оптическая разность хода в точке, где толщина воздушного зазора  $h$  равна:

$$\Delta = 2h - \frac{\lambda}{2}.$$

Дополнительная разность  $\lambda/2$  возникает при отражении луча света от поверхности 2 (при отражении от более плотной среды происходит сдвиг фазы колебаний в отраженной волне на  $\pi$ ). Для определенности предположим, что наблюдаются темные полосы. Тогда в соответствии с условием минимума интерференции:

$$\Delta = 2h - \frac{\lambda}{2} = 2m + 1 \frac{\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Следовательно,

$$h = m + 1 \frac{\lambda}{2}.$$

Угол при вершине воздушного клина малый, тогда:

$$\sin \alpha \cong \alpha = \frac{h}{l} = \frac{m + 1}{2} \frac{\lambda}{l} = \frac{N\lambda}{2l}.$$

Подставляя числовые величины, получаем:  $\alpha = 5 \cdot 10^{-4} \text{ рад} \cong 1' 40''$ .

**Пример 7.** Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку с периодом  $d = 2 \text{ мкм}$ , если угол между максимумами первого и второго порядков спектра  $\Delta\varphi = 15^\circ$ .

*Решение.* Для углов дифракции первого и второго порядков из формулы, определяющей положение максимумов дифракционной решетки, следует

$$d \sin \varphi_1 = 1\lambda, \quad d \sin \varphi_2 = 2\lambda..$$

Согласно условию  $\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$ . Выражаем из первых двух уравнений угол  $\varphi_1$ :

$$\sin \varphi_2 = \sin \varphi_1 + \Delta\varphi = \sin \varphi_1 \cos \Delta\varphi + \cos \varphi_1 \sin \Delta\varphi = 2 \sin \varphi_1..$$

Проводя простые тригонометрические преобразования, получим

$$\sin \varphi_1 = \frac{\sin \Delta\varphi}{\sqrt{5 - 4 \cos \Delta\varphi}}.$$

Затем, используя первое уравнение, получаем

$$\lambda = \frac{d \sin \Delta\varphi}{\sqrt{5 - 4 \cos \Delta\varphi}} = \frac{2 \cdot 0,259}{\sqrt{5 - 4 \cdot 0,966}} \cong 0,486 \text{ мкм.}$$

**Пример 8.** При нормальном падении света на дифракционную решетку ширины  $l = 1$  см установлено, что две желтые линии натрия  $\lambda_1 = 0,589$  мкм и  $\lambda_2 = 0,5896$  мкм оказываются разрешенными, начиная с пятого порядка спектра.

Определить период дифракционной решетки.

*Решение.* Разрешающая способность дифракционной решетки:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} = mN = m \frac{l}{d}.$$

Из последнего равенства легко получить

$$d = \frac{ml\delta\lambda}{\lambda} = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-10}}{0,589 \cdot 10^{-6}} = 50,93 \cdot 10^{-6} \approx 0,05 \text{ мм.}$$

**Пример 9.** На пути частично поляризованного пучка света установлен поляризатор (николь). При повороте поляризатора на угол  $\alpha = 60^\circ$  из положения, соответствующего максимальному пропуску-

нию света, интенсивность прошедшего света уменьшилась в  $k = 4$  раза. Определить степень поляризации падающего света.

*Решение.* Частично поляризованный свет представляет собой суперпозицию естественного и плоско-поляризованного света. Николь пропускает половину падающего на него естественного света, превращая его в плоскополяризованный. Степень пропускания плоскополяризованного света, падающего на николь, определяется законом Малюса и зависит от угла между оптическими осями поляризатора и анализатора. Тогда полная интенсивность света, прошедшего через николь:

$$I = 0,5I_{\text{ест}} + I_{\text{пол}} \cos^2 \alpha ,$$

где  $I_{\text{ест}}$ ,  $I_{\text{пол}}$  – интенсивности естественной и поляризованной составляющих света, падающего на николь. Тогда максимальная и минимальная интенсивности света, входящие в определение степени поляризации  $P$ , могут быть определены так:

$$I_{\text{max}} = 0,5I_{\text{ест}} + I_{\text{пол}}, \quad I_{\text{min}} = 0,5I_{\text{ест}}.$$

Согласно условиям задачи  $I_{\text{max}} = kI$  или, выражая из предыдущих соотношений:

$$I_{\text{max}} = k [0,5I_{\text{ест}} + I_{\text{пол}} \cos^2 \alpha] = k [I_{\text{min}} + I_{\text{max}} - I_{\text{min}} \cos^2 \alpha].$$

Из последнего уравнения определим отношение

$$\frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{max}}} = \frac{1 - k \cos^2 \alpha}{k (1 - \cos^2 \alpha)}.$$

И, наконец, можно определить степень поляризации света:

$$P = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}} = \frac{k - 1}{1 + k - 2k \cos^2 \alpha} = \frac{1}{3}.$$

## III. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

### 1. КОЛЕБАНИЯ

#### Вариант 1

1. Частица совершает прямолинейные гармонические колебания. Максимальная скорость частицы  $v_{\max} = 20 \text{ см/с}$ , максимальное ускорение  $a_{\max} = 40 \text{ см/с}^2$ . Найти частоту колебаний  $\omega$  и амплитуду колебаний  $A$ .

2. На поверхности воды вертикально плавает цилиндрическая бутылка (рис. 1.1). Диаметр бутылки  $d = 8 \text{ см}$ , масса  $m = 0,5 \text{ кг}$ . Если бутылку толчком вывести из положения равновесия, она совершает вертикальные колебания. Найти период колебаний.

3. Частица участвует одновременно в двух колебаниях одного направления:  $x_1 = 4 \cos 2\pi t$  и  $x_2 = 3 \sin 2\pi t$ . Написать уравнение результирующего колебания частицы.

4. Определить коэффициент затухания колебаний математического маятника, если за промежуток времени  $\Delta t = 8 \text{ мин}$  маятник теряет 99 % своей полной начальной энергии.

5. На горизонтальную мембрану насыпан мелкий песок. Мембрана колеблется с частотой  $\nu = 500 \text{ Гц}$  в вертикальном направлении. Определить амплитуду колебаний мембраны, если песчинки подскакивают на высоту  $h = 3 \text{ мм}$  по отношению к положению равновесия мембраны.

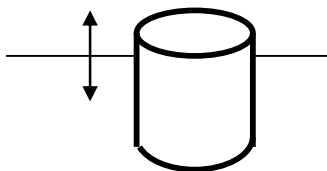


Рис. 1.1

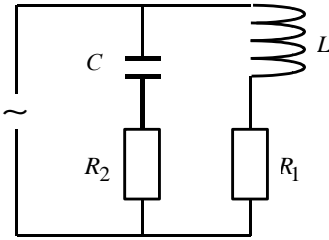


Рис 1.2

6. При какой скорости поезда рессоры вагонов будут колебаться с наибольшей амплитудой под действием толчков колес о стыки рельсов, если длина рельсов 12,5 м, нагрузка на рессору 5,5 т, а рессора прогибается на 16 мм при нагрузке на нее в 1 т?

7. Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний будет меньше амплитуды при резонансе, если частота колебаний будет больше резонансной частоты на 10 %, а коэффициент затухания колебаний  $\beta = 0,1\omega_0$  ( $\omega_0$  – собственная частота колебаний колебательной системы)?

8. Определить резонансную частоту колебаний в параллельном колебательном контуре (рис. 1.2), если  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 5$  Ом,  $L = 1$  мГн,  $C = 50$  мкФ.

## Вариант 2

1. Частица совершает гармонические колебания с периодом  $T = 1$  с. Найти минимальный промежуток времени, в течение которого смещение частицы меняется от  $x_1 = A/2$  до  $x_2 = -A/2$  ( $A$  – амплитуда колебаний).

2. На каком расстоянии  $x$  от центра масс стержня (рис. 1.3) длины  $L$  должна находиться ось колебаний, чтобы такой физический маятник колебался с максимальной частотой? Определить период таких колебаний.

3. Написать уравнение результирующего колебания, образующегося в результате сложения трех однонаправленных колебаний с одинаковым периодом  $T = 1$  с и равными амплитудами  $A = 5$  см. Начальные фазы колебаний соответственно:  $\alpha_1 = 0$ ,  $\alpha_2 = \frac{\pi}{3}$ ,  $\alpha_3 = \frac{2\pi}{3}$ . Отобразить решение в виде векторной диаграммы.

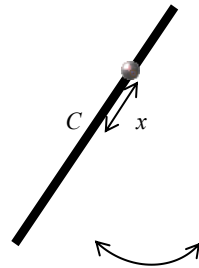


Рис 1.3

4. Масса стержня  $m$ , длина  $L$ , коэффициент жесткости пружины  $k$ . Ось колебаний проходит через конец стержня (рис. 1.4). Пружина прикреплена к стержню на расстоянии  $d$  от оси колебаний. Составить уравнение гармонических колебаний.

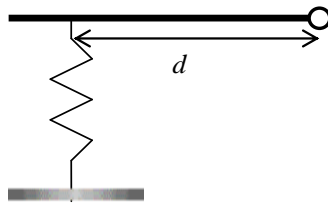


Рис 1.4

Определить период колебаний.

5. Определить логарифмический декремент затухания колебаний математического маятника, если за время  $t = 1$  мин полная начальная энергия колебаний уменьшается в 10 раз. Длина маятника  $L = 1$  м.

6. Добротность колебательной системы  $Q = 2$ , циклическая частота свободных колебаний  $\omega = 100$  рад/с. Определить собственную частоту колебаний  $\omega_0$ .

7. Амплитуды вынужденных колебаний при частотах  $\nu_1 = 100$  Гц и  $\nu_2 = 200$  Гц равны между собой. Определить резонансную частоту колебательной системы.

8. В сеть переменного тока с действующим значением напряжения  $U_{\text{эфф}} = 220$  В и частотой  $\nu = 50$  Гц включены последовательно емкость  $C = 20$  мкФ, резистор  $R = 50$  Ом и индуктивность  $L = 0,8$  Гн. Определить напряжение на каждом элементе цепи, мощность, выделяющуюся в цепи, угол сдвига фазы между колебаниями тока и напряжения.

### Вариант 3

1. Материальная точка совершает колебания вдоль оси  $X$  по закону  $x = A \sin \omega t$ , где  $\omega = 1,57$  рад/с. Максимальная скорость точки  $v_{\text{max}} = 9,42$  см/с. Определить среднее значение скорости и ускорения

точки за промежутки времени  $\Delta t_1 = 0 \dots \frac{T}{8}$  и  $\Delta t_2 = \frac{T}{8} \dots \frac{T}{4}$ .

2. Написать уравнение результирующего колебания, получающегося в результате сложения двух взаимно-перпендикулярных колебаний с одинаковыми частотами  $\nu_1 = \nu_2 = 10$  Гц, начальными фазами

$\varphi_1 = \varphi_2 = \pi/3$ . Амплитуды колебаний  $A_1 = 5$  см и  $A_2 = 10$  см. Изобразить траекторию движения точки.

3. Физический маятник представляет собой сплошной диск, колеблющийся в вертикальной плоскости относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости диска. Радиус диска  $R$ . На каком расстоянии от центра диска должна проходить ось колебаний, чтобы период колебаний маятника был минимальным?

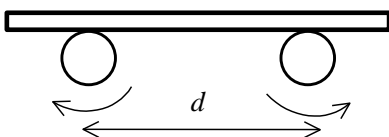


Рис. 1.5

4. Доска массы  $M$  расположена горизонтально и опирается на два вращающихся цилиндра (рис. 1.5). Расстояние между осями цилиндров  $d$ , коэффициент трения между доской и цилиндрами  $\mu$ . Если доску сместить из положения равновесия, она будет совершать малые колебания.

Показать, что колебания будут гармоническими и найти их период.

5. Амплитуда затухающих колебаний уменьшается в течение одного периода в три раза. На сколько процентов период колебаний больше, чем при отсутствии причины, вызывающей затухание?

6. Амплитуда вынуждающей силы вынужденных колебаний  $F_m = \text{const}$ . При этом амплитуда скорости смещений частицы при частотах  $\nu_1 = 100$  Гц и  $\nu_2 = 300$  Гц оказывается одинаковой. Найти резонансную частоту колебательной системы.

7. Последовательный колебательный контур содержит индуктивность  $L = 6$  мкГн, емкость  $C = 1$  нФ и резистор  $R = 0,5$  Ом. Какую мощность нужно подводить к контуру, чтобы поддерживать в нем незатухающие колебания с амплитудой напряжения на конденсаторе  $U_C = 10$  В?

8. Последовательно соединенные резистор  $R = 100$  Ом и конденсатор подключены к источнику переменного тока с действующим значением напряжения  $U_{\text{эфф}} = 220$  В. Действующая сила тока в цепи  $I_{\text{эфф}} = 1$  А. Найти разность фаз колебаний тока и внешнего напряжения, питающего цепь.



#### Вариант 4

1. Кузов автомобиля установлен на четырех пружинах подвески, на которых может совершать вертикальные колебания. Масса кузова 1460 кг, а частота колебаний 2,95 Гц. Определить частоту колебаний кузова автомобиля, если в нем находятся пять человек средней массой  $m = 73,2$  кг каждый.

2. Плоская платформа участвует в горизонтальных гармонических колебаниях с периодом 2 с. Тело, находящееся на платформе, начинает скользить при амплитуде колебаний  $A = 0,3$  см. Определить коэффициент трения между телом и платформой.

3. Материальная точка участвует одновременно в трех однонаправленных гармонических колебаниях:  $x_1 = \cos \omega t$ ,  $x_2 = 2 \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{4} \right)$ ,

$$x_3 = 3 \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{3} \right) \text{ (см).}$$

С помощью векторной диаграммы найти амплитуду и начальную фазу результирующего колебания. Написать уравнение результирующего колебания.

4. Физический маятник в виде каркаса из жесткой проволоки состоит из дуги полуокружности и прямой (диаметра) (рис. 1.6). Диаметр каркаса  $d = 50$  см. Определить период колебаний в вертикальной плоскости относительно оси, проходящей через центр окружности.

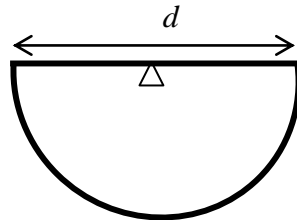


Рис. 1.6

5. Определить общий путь, пройденный колеблющейся точкой (при колебаниях вперед и назад) до полного затухания колебаний, если начальная амплитуда  $A_0 = 1$  мм, логарифмический декремент затухания колебаний  $\theta = 0,0002$ .

6. Груз массы  $m = 0,1$  кг колеблется на пружине с жесткостью  $k = 10$  н/м. На груз действует внешняя вынуждающая сила с амплитудой  $F_m = 1,5$  Н и частотой, в два раза большей собственной частоты колебаний. Коэффициент затухания колебаний  $\beta = 0,4$  1/с. Определить амплитуду колебаний груза. Во сколько раз она будет меньше резонансной амплитуды?

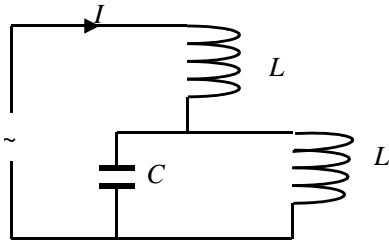


Рис. 1.7

7. В контуре, добротность которого  $Q = 50$  и собственная частота  $\nu_0 = 5,5$  кГц, возбуждаются затухающие колебания. Через какое время энергия, запасенная в контуре, уменьшится в два раза?

8. Внешнее напряжение на источнике тока изменяется гармонически:  $U = U_m \cos \Omega t$ . Определить силу тока в цепи (рис. 1.7).

### Вариант 5

1. Материальная точка участвует в гармонических колебаниях с частотой  $\omega$ . Начальное положение точки  $x_0$ , начальная скорость точки  $v_0$ . Показать, что смещение точки можно определить уравнением

$$x(t) = x_0 \cos \omega t + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t.$$

Если амплитуда колебаний  $A$ , показать, что

$$A^2 \omega^2 = v^2 - ax,$$

где  $a$  – ускорение,  $v$  – скорость точки.

2. Написать уравнение результирующего колебания, полученное из сложения двух колебаний одного направления  $x_1 = 40 \cos 180\pi t$  и  $x_2 = 40 \cos 200\pi t$ . Найти период биений.

3. Тело массы  $m$  подвешено на двух последовательно соединенных пружинах с коэффициентами жесткости  $k_1$  и  $k_2$ . Определить период колебаний.

4. Материальная точка совершает затухающие колебания с периодом  $T = 4,5$  с. Начальная амплитуда колебаний  $A_0 = 16$  мм, а после 20 колебаний амплитуда колебаний  $A = 1$  мм. Определить логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

5. Поршень массы  $m$  находится в цилиндре, установленном вертикально (рис. 1.8). В состоянии равновесия расстояние от дна цилиндра до поршня  $h = 20$  см. В цилиндре под поршнем азот. Определить период колебаний поршня, если его вывести из положения равновесия.

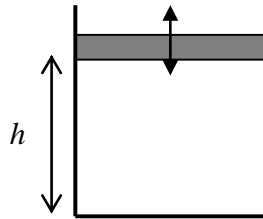


Рис. 1.8

6. Циклическая частота собственных колебаний в системе  $\omega_0 = 100$  рад/с, а резонансная частота  $\Omega_p = 80$  рад/с. Определить добротность колебательной системы.

7. Цепь питается источником переменного тока с частотой  $\nu = 50$  Гц и действующим значением напряжения  $U_{\text{эфф}} = 220$  В (рис. 1.9). Сопротивление резистора  $R = 50$  Ом, индуктивность  $L = 0,1$  Гн. Показания вольтметров относятся между собой как  $U_2 / U_1 = 2$ . Определить емкость  $C$  и действующее значение силы тока.

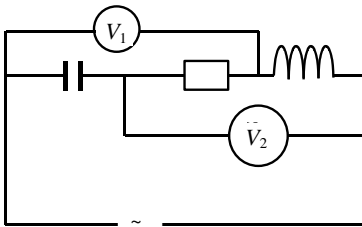


Рис. 1.9

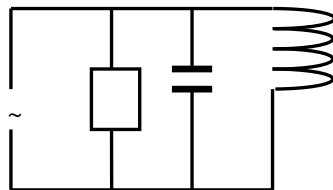


Рис. 1.10

8. Электрическая цепь состоит из емкости  $C$ , индуктивности  $L$  и резистора  $R$ , включенных параллельно (Рис. 1.10). Цепь питается переменным напряжением  $U = U_m \cos \Omega t$ . Определить силу тока в цепи и силу тока через каждый элемент цепи.

### Вариант 6

1. Маленький упругий мячик падает с высоты  $h = 3$  м на горизонтальную поверхность. Предполагая, что удар абсолютно упругий, показать, что движение будет периодическим. Определить период такого

колебательного движения. Будет ли такое колебательное движение гармоническим?

2. Смещение при колебаниях гармонического осциллятора определяется уравнением  $x = A \sin \omega t + \alpha$ . Колебания начинаются из положения  $x = x_0$  с начальной скоростью  $v = v_0$ . Определить начальную фазу  $\alpha$  и амплитуду колебаний  $A$ .

3. Точка участвует одновременно в двух взаимно-перпендикулярных колебаниях  $x = 4 \cos \frac{\pi}{2} t$  и  $y = \sin \omega t$ . Определить траекторию движения точки.

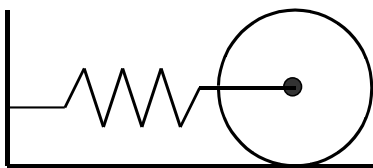


Рис. 1.11

4. Сплошной диск радиуса  $R$  катается без проскальзывания по горизонтальной поверхности под действием упругой пружины, прикрепленной к центру диска (рис. 1.11). Жесткость пружины  $k$ , масса диска  $m$ . Определить период колебаний такого физического маятника.

5. Математический маятник длиной  $l = 1$  м колеблется с амплитудой  $A = 5$  см. Масса маятника  $m = 0,2$  кг. Насколько отличается максимальная сила натяжения нити подвеса маятника от минимальной силы  $\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$  в процессе колебаний?

6. За время  $t = 100$  с маятник совершает  $n = 200$  колебаний. За это время амплитуда колебаний уменьшается в  $e$  раз. Определить логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

7. Циклическая частота свободных затухающих колебаний в колебательной системе  $\omega = 90$  рад/с, а резонансная частота  $\Omega_p = 80$  рад/с. Найти логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

8. Параметры контура, представленного на рис. 1.12, следующие:  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 50$  Ом,  $L = 0,01$  Гн,  $C = 10$  мкФ. Определить резонансную частоту колебаний в контуре.

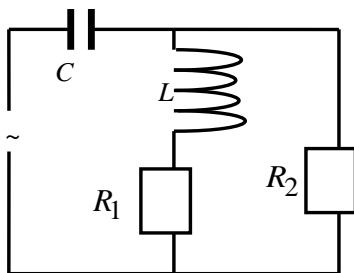


Рис. 1.12

## Вариант 7

1. Движение поршня в двигателе внутреннего сгорания можно интерпретировать как гармонические колебания. Определить силу, действующую на коленчатый вал двигателя со стороны поршня, когда он находится в мертвых точках. Масса поршня  $m = 1,2$  кг, коленчатый вал вращается с частотой 2000 об/мин, свободный ход поршня 12 см.

2. Маятниковые часы, период колебаний которых  $T = 2$  с, на поверхности земли идут точно. Насколько будут отставать эти часы за год, если их переместить на высоту 20-го этажа ( $h = 60$  м) или на высоту  $h = 1$  км?

3. На рис. 1.13 изображена траектория движения точки, участвующей в двух взаимно-перпендикулярных колебаниях. Написать уравнения колебаний. Частоты колебаний одинаковы и равны  $\nu = 50$  Гц.

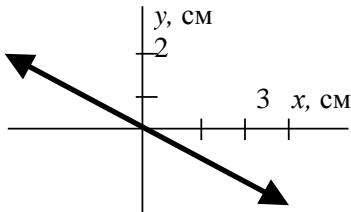


Рис. 1.13

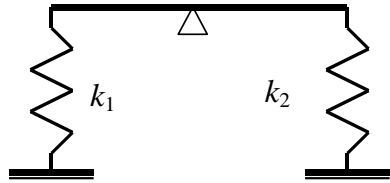


Рис. 1.14

4. Определить период малых колебаний стержня массы  $m$ , длины  $l$  относительно оси, проходящей через середину стержня (рис. 1.14). Коэффициенты жесткости пружин  $k_1$  и  $k_2$ .

5. Колебательная система с большим затуханием смещается на величину  $x = A_0$  от положения равновесия и затем отпускается, при этом происходят аperiodические колебания. Показать, что смещение системы описывается уравнением

$$x = A_0 e^{-\beta t} \left[ \operatorname{ch} \omega t + \frac{\beta}{\omega} \operatorname{sh} \omega t \right],$$

где  $r$  – коэффициент сопротивления среды,  $k$  – коэффициент жесткости пружины,  $m$  – масса колеблющейся точки,  $\omega = \sqrt{\beta^2 - k/m}$ ,  $\beta = \frac{r}{2m}$ ,  $\operatorname{sh}$  и  $\operatorname{ch}$  – соответственно гиперболический синус и косинус.

6. В течение некоторого промежутка времени маятник совершает 100 колебаний, и амплитуда колебаний уменьшается при этом в 5 раз. Определить добротность колебательной системы.

7. Циклическая частота свободных затухающих колебаний в некоторой колебательной системе  $\omega = 100$  рад/с, а резонансная частота  $\omega_p = 80$  рад/с. Найти логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

8. В последовательном колебательном контуре, в котором поддерживаются вынужденные электрические колебания с амплитудой  $U_0$ , амплитуды напряжения на индуктивности  $U_L = 30$  В, на емкости  $U_C = 70$  В, на резисторе  $U_R = 50$  В. Определить величину напряжения  $U_0$  и угол сдвига фазы между колебаниями тока и напряжения.

### Вариант 8

1. Частица колеблется по закону  $x = 6 \cos 0,5\pi t + 1$  (см). Определить путь, пройденный частицей за один период колебаний  $T$ . Найти среднюю скорость частицы за промежуток времени  $\Delta t = T/4$ .

2. Написать уравнение результирующего колебания, полученного при сложении трех колебаний одного направления:

$$x_1 = A \sin \omega t, x_2 = A \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{3} \right), x_3 = A \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right).$$

3. Математический маятник колеблется по закону:  $\varphi = \varphi_m \cos \omega_0 t$  ( $\varphi$  – угол отклонения от положения равновесия). Масса маятника  $m$ , длина нити подвеса  $l$ . По какому закону изменяется со временем сила натяжения нити подвеса?

4. Предположим, что Земля просверлена по диаметру так, что образовался канал. В образовавшуюся шахту без начальной скорости опускается тело массы  $m$ . Показать, что движение тела происходит по закону гармонических колебаний.

Определить период таких колебаний, приняв Землю за однородный шар с плотностью  $\rho = 5,5$  г/см<sup>3</sup>.

5. Через какое время энергия колебаний камертона с частотой  $\nu = 600$  Гц уменьшается в миллион раз, если логарифмический декремент затухания колебаний  $\theta = 0,0008$ ?

6. Под действием вынуждающей силы  $F_x = F_m \cos \omega t$  колебательная система совершает установившиеся колебания, описываемые функцией  $x = x_m \cos \omega t - \varphi$ . Найти работу вынуждающей силы за один период колебаний.

7. Добротность колебательной системы  $Q = 2$ . Определить отношение амплитуды вынужденных колебаний при частоте вынуждающей силы, равной собственной частоте колебаний системы  $\Omega = \omega_0$  к амплитуде при резонансе.

8. Последовательный колебательный контур состоит из индуктивности  $L = 0,1$  мГн, конденсатора  $C = 0,01$  мкФ и резистора  $R = 3$  Ом. Определить среднюю мощность, потребляемую контуром, необходимую для поддержания в нем колебаний с амплитудой напряжения на конденсаторе  $U_{Cm} = 2$  В.

### Вариант 9

1. Материальная точка совершает гармонические колебания. При смещении точки от положения равновесия на  $x_1 = 2,6$  см ее скорость  $v_1 = 2,9$  см/с, а при смещении на  $x_2 = 3,4$  см скорость  $v_2 = 1,9$  см/с. Найти частоту и амплитуду колебаний.

2. Результирующее колебание точки, образующееся в результате суперпозиции двух колебаний, описывается уравнением  $x = A \cos 2,1\pi t \cos 80\pi t$ . Определить частоты складываемых колебаний. Изобразить графически результат сложения. Определить период биений.

3. Сплошной диск радиуса  $R$  и массы  $m$  подвешен на упругой нити в центре диска. Определить период малых крутильных колебаний диска (рис. 1.15). Считать нить упругой, для которой момент силы  $M$ , создающей угол поворота, пропорционален самому углу поворота:  $M = \gamma\varphi$ .

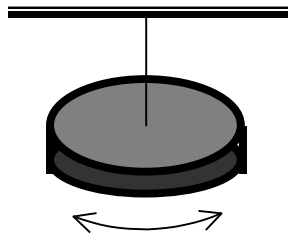


Рис. 1.15

4. Тело массы  $m = 12 \text{ г}$  участвует в затухающих колебаниях с частотой  $\nu = 1 \text{ Гц}$ . За время  $\Delta t = 1 \text{ мин}$  полная энергия колебаний тела уменьшается на 90 %. Определить логарифмический декремент затухания и добротность колебательной системы.

1. Добротность колебательной системы  $Q = 2$ , циклическая частота свободных колебаний  $\omega = 100 \text{ рад/с}$ . Определить собственную частоту колебаний системы.

6. Колебания осциллятора определяются уравнением  $x = x_0 \sin \Omega t$ , а вынуждающая сила, действующая на него, изменяется по уравнению

$$F = F_m \cos \Omega t.$$

Масса осциллятора  $m$ . Определить коэффициент затухания колебаний.

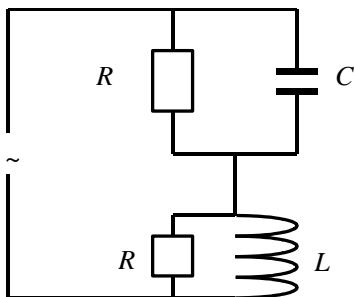


Рис. 1.16

7. Последовательный колебательный контур (рис. 1.16) питается напряжением  $U_{\text{эфф}} = 220 \text{ В}$ . Найти напряжение на сопротивлении  $U_R$ , если известно, что напряжение на емкости  $U_C = 2U_R$  и напряжение на индуктивности  $U_L = 3U_R$ .

8. В цепи действует источник переменного напряжения  $U = U_m \cos \Omega t$ . Показать, что при выполнении условия  $RC = L/R$  ток в цепи не зависит от значения циклической частоты  $\Omega$ .

### Вариант 10

1. Частица участвует в гармонических колебаниях, определяемых уравнением  $x = A \sin 4t$  (см). В некоторый момент времени смещение частицы  $x_1 = 25 \text{ см}$  и ее скорость  $v_1 = 100 \text{ см/с}$ . Найти смещение и скорость частицы через промежуток времени  $\Delta t = 2,4 \text{ с}$  после этого момента.

2. Материальная точка участвует одновременно в двух колебаниях, взаимно-перпендикулярных по направлению:  $x = 4 \cos \omega t$  и  $y = 6 \sin \omega t$ . Определить траекторию движения точки.



3. Тонкая прямоугольная пластина колеблется относительно горизонтальной оси, лежащей в ее плоскости и перпендикулярной к одной из ее сторон, длина которой  $l$  (рис. 1.17). При каком расстоянии  $x$  оси от верхней кромки пластины период колебаний будет минимальным?

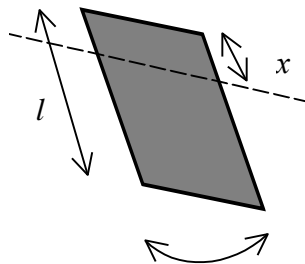


Рис. 1.17

4. Диск диаметром  $D = 10$  см подвешен на тонком стержне длиной  $l = 10$  см. Определить относительную погрешность, которая допускается, если при вычислении периода колебаний его принимают за математический маятник длиной  $l_0 = 15$  см. Массой стержня пренебречь.

5. Тело массы  $m = 360$  г, подвешенное на пружине, совершает затухающие колебания. Коэффициент жесткости пружины  $k = 25$  Н/м. Логарифмический декремент затухания системы  $\theta = 0,001$ . Сколько колебаний происходит в системе при уменьшении амплитуды колебаний в  $e$  раз? За какой промежуток времени это произойдет?

6. Амплитуда скорости вынужденных колебаний материальной точки при частотах вынуждающей силы  $\nu_1 = 150$  Гц и  $\nu_2 = 200$  Гц равны между собой. Найти резонансную частоту колебательной системы.

7. На последовательный колебательный контур подается переменное напряжение с амплитудой  $U_m$ . Показать, что при резонансе тока

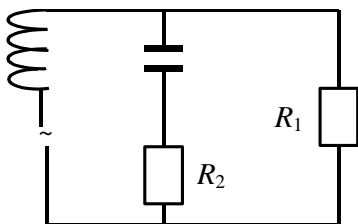


Рис. 1.18

напряжение на конденсаторе  $U_C \cong QU_m$  ( $Q$  – добротность контура).

8. В колебательном контуре с параметрами

$$L = 0,01 \text{ Гн}, C = 10 \text{ мкФ}, R_1 = 50 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 10 \text{ Ом}$$

возбуждаются незатухающие вынужденные колебания (рис. 1.18). Определить резонансную частоту этих вынужденных колебаний.

## Вариант 11

1. Циклическая частота свободных незатухающих колебаний материальной точки  $\omega_0$ . Определить наименьший промежуток времени, за который потенциальная энергия колебаний уменьшается в два раза по сравнению со своим наибольшим значением.

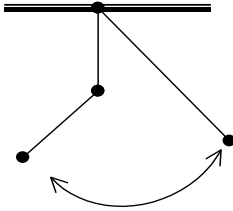


Рис. 1.19

2. Математический маятник длиной  $l$  совершает колебания вблизи вертикальной стены (рис. 1.19). Под точкой подвеса маятника на расстоянии  $l/2$  в стену вбит гвоздь. Найти период колебаний маятника.

3. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно-перпендикулярных колебаниях:  $x = 4\cos \omega t$  и  $y = 8\cos \omega t + \pi/4$ .

Построить траекторию движения точки.

4. К пружине с коэффициентом жесткости  $k$  подвешено тело массы  $m$ . Как известно, период колебаний такого пружинного маятника  $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ . Затем пружина перерезается пополам и к ее половине подвешивается то же тело. Найти период колебаний полученного осциллятора, сравнить его с периодом  $T$ .

5. Коэффициент затухания при колебаниях осциллятора достаточно мал. Если осциллятор начинает колебаться в момент времени  $t = 0$  со скоростью  $v$ , то через время, равное периоду колебаний  $t = T$ , его скорость  $v = v/a$  ( $a > 0$ ). Какой будет скорость тела в момент времени  $t_1 = 2T$ ,  $t_2 = 3T$ ?

6. Монокристалл кварца, применяющийся в генераторах тактовой частоты, можно рассматривать как колебательную систему с добротностью  $Q \cong 10^9$  и собственной частотой колебаний  $\omega_0 = 10^6$  рад/с. Оценить время, за которое в кристалле устанавливаются вынужденные колебания.

7. Человек находится вблизи вторичной обмотки высоковольтного трансформатора (рис. 1.20). Частота колебаний напряжения  $\nu = 50$  Гц, напряжение на первичной обмотке  $U_1 = 220$  В коэффи-

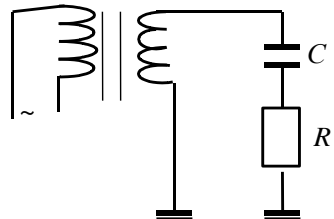


Рис. 1.20

циент трансформации 22,7. Сопротивление тела человека  $R = 50$  кОм, электрическая емкость связи человека и вторичной обмоткой трансформатора  $C = 20$  пкФ. Определить напряжение, под действием которого находится человек.

8. Катушка индуктивности, сопротивление которой  $R = 12$  Ом, включена в цепь переменного тока с частотой  $\nu = 50$  Гц. Сдвиг фазы между колебаниями тока и напряжения на катушке  $\varphi = 60^\circ$ . Определить индуктивность катушки.

## Вариант 12

1. Материальная точка колеблется в соответствии с уравнением  $x = 10\sin 2\pi t$  (см). Найти среднее значение скорости частицы за промежутки времени, равный: 1) периоду колебаний  $T$ ; 2) за первую  $1/8$  часть периода  $T$ ; 3) за вторую  $1/8$  часть периода колебаний  $T$ .

2. Точка участвует одновременно в двух взаимно-перпендикулярных колебаниях:  $x = 2\cos \pi t$  и  $y = 5\cos \frac{\pi}{2}t$ . Определить траекторию движения точки.

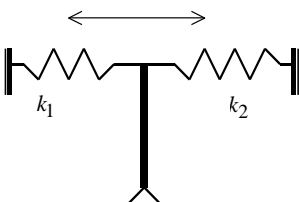


Рис. 1.21

3. Стержень длины  $l$  и массы  $m$  колеблется под действием двух пружин с коэффициентами жесткости  $k_1, k_2$ , закрепленными за его конец (рис. 1.21). Определить период малых колебаний стержня.

4. Циклическая частота свободных колебаний некоторой системы  $\omega = 100$  рад/с, резонансная частота  $\Omega_p = 98$  рад/с. Определить добротность колебательной системы.

5. Математический маятник совершает затухающие колебания в среде с логарифмическим декрементом затухания  $\theta_1 = 1,26$ . Определить декремент затухания в случае, если сопротивление среды увеличится в два раза.

6. Механическая колебательная система характеризуется логарифмическим декрементом затухания  $\theta = 1,57$ . Под действием внешней гармонической силы система участвует в вынужденных колебаниях. Найти отношение резонансной амплитуды к амплитуде при малых частотах колебаний.

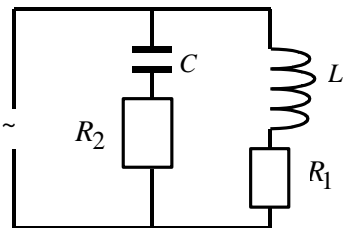


Рис. 1.22

7. Последовательный колебательный контур с емкостью  $C = 1,1$  нФ и индуктивностью  $L = 5$  мГн характеризуется логарифмическим декрементом затухания  $\kappa = 0,005$ . Определить время, в течение которого в контуре происходит потеря 99 % начальной энергии колебаний в контуре.

8. Определить резонансную частоту колебаний в контуре с параметрами  $L, C, R_1, R_2$  (рис. 1.22).

### Вариант 13

1. Материальная точки участвует в колебаниях в соответствии с уравнением  $x = 0,1 \sin \pi t$  (м). Определить среднюю скорость точки: 1) за период колебаний  $T$ ; 2) за первую четверть периода; 3) за вторую четверть периода.

2. Точка участвует в двух взаимно-перпендикулярных колебаниях. Траектории точки представляет собой эллипс (рис. 1.23). Написать уравнение колебаний точки вдоль каждой оси координат.

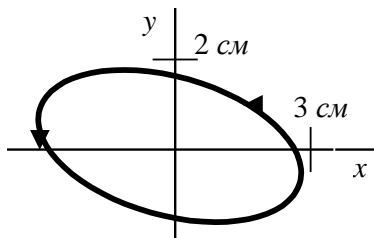


Рис. 1.23

3. Потенциальная энергия частицы массы  $m$ , находящейся в центрально-симметричном силовом поле, имеет вид

$$U = \frac{a}{r^3} - \frac{b}{r^2} \quad (a, b - \text{const})$$

Определить частоту малых колебаний частицы относительно положения равновесия в радиальном направлении.

4. Механическая система, имеющая собственную частоту колебаний  $\omega_0$ , в условиях колебаний в среде с малой вязкостью колеблется с частотой  $\omega = 0,99\omega_0$ . Определить добротность колебательной системы.

5. Тело массы  $m = 20$  г подвешено на пружине с коэффициентом жесткости  $k = 50$  Н/м и совершает вынужденные колебания под действием гармонической силы. При резонансной частоте  $\nu_p = 8,12$  Гц амплитуда колебаний  $A_p = 2$  см. Определить амплитуду вынуждающей силы и добротность колебательной системы.

6. В колебательной системе с добротностью  $Q = 5$  происходят затухающие колебания с частотой  $\omega = 50$  рад/с. Под действием внешней гармонической силы в системе устанавливаются вынужденные колебания, отстающие по фазе от колебаний вынуждающей силы на  $\varphi = 30^\circ$ . Определить частоту колебаний вынуждающей силы  $\Omega$ .

7. Последовательный колебательный контур, содержащий все элементы цепи  $R, L, C$ , подключен к источнику переменного напряжения  $U = U_m \cos \Omega t$ . При частотах  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  амплитуда колебаний тока в контуре в  $n$  раз меньше резонансной. Определить резонансную частоту и добротность контура.

8. Параметры последовательного колебательного контура имеют значения:

$R = 0,67$  Ом,  $L = 9,6$  мкГн,  $C = 0,0032$  мкФ. В контуре поддерживаются вынужденные колебания с амплитудой напряжения на конденсаторе  $U_C = 12$  В. Какую мощность потребляет контур?

### Вариант 14

1. Груз подвешен на резиновом шнуре и колеблется в вертикальной плоскости. Как изменится частота колебаний груза, если его подвесить на том же шнуре, сложенном вдвое?

2. Железный шарик массы  $m$ , подвешен на длинной нерастяжимой нити длиной  $l$  (рис. 1.24). Как известно, период колебаний такого маятника  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ .

При наличии магнитного поля, направленного горизонтально, период колебаний маятника  $T = 0,9T_0$ . Определить силу, действующую со стороны магнитного поля на шарик.

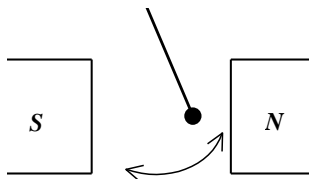


Рис. 1.24

3. Два шарика с массами  $m_1$  и  $m_2$  соединены пружиной с коэффициентом жесткости  $k$ . Определить период малых колебаний такой колебательной системы.

4. Концы пружины с коэффициентом жесткости  $k$  перемещаются вдоль оси  $X$  в соответствии с уравнениями

$$x_1 = A \cos \omega_1 t \text{ и } x_2 = A \cos \omega_2 t .$$

Как меняется сила натяжения пружины со временем? Построить график зависимости  $F(t)$  в случае близких частот.

5. Определить среднюю мощность, рассеиваемую колебательной системой при затухающих колебаниях. Определить рассеянную среднюю мощность за один период колебаний.

6. Определить направления смещения материальной точки, участвующей в вынужденных колебаниях, относительно направления действия внешней гармонической силы при частотах  $\omega < \omega_0$  и  $\omega > \omega_0$ .

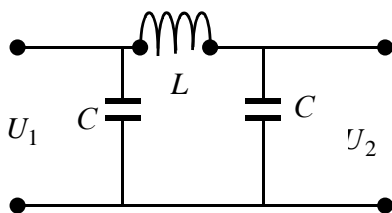


Рис. 1.25

7. Необходимо изготовить дроссель, чтобы входное и выходное напряжения соответствовали условию  $U_1 = 10U_2$ . Конденсаторы обладают одинаковой емкостью  $C = 10 \text{ мкФ}$ . Частота колебаний  $100 \text{ Гц}$  (рис. 1.25). Определить индуктивность дросселя.

2. Последовательно с электрической конфоркой в городскую сеть подключается катушка индуктивности. При этом мощность, выделяющаяся на конфорке, уменьшается в два раза. Активное сопротивление цепи  $R = 50 \text{ Ом}$ . Найти индуктивность катушки  $L$ .

### Вариант 15

1. На рис. 1.26 изображена кривая, соответствующая зависимости кинетической энергии гармонического осциллятора от координаты  $W_k(x)$ . При этом максимум кривой соответствует энергии  $4 \text{ Дж}$ . Найти частоту колебаний, если масса тела  $m = 0,1 \text{ кг}$ .

2. Музыкальный центр генерирует колебания тонкой мембраны, амплитуда которых не превышает  $1 \text{ мкм}$ . С какой частотой колеблется мембрана, если ее ускорение  $a = g$  ( $g$  – ускорение свободного падения)?

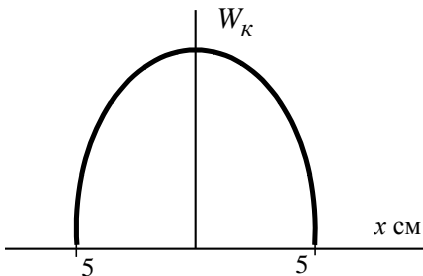


Рис. 1.26

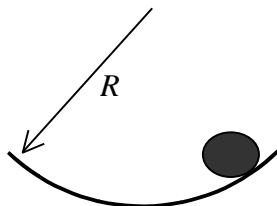


Рис. 1.27

3. Сплошной однородный цилиндр радиуса  $r$  катается без скольжения по внутренней стороне цилиндрической поверхности радиуса  $R$ , совершая малые колебания (рис. 1.27). Пренебрегая сопротивлением движению цилиндра, показать, что колебания будут гармоническими. Найти период этих колебаний.

4. После десяти полных колебаний материальной точки ее амплитуда уменьшается от 10 до 6 см. Коэффициент затухания колебаний  $\beta = 0,2 \text{ 1/с}$ . Написать уравнение движения точки  $x(t)$ .

5. Добротность колебательной системы  $Q = 10$ . Определить на сколько процентов отличается частота затухающих колебаний  $\omega$  от собственной частоты  $\omega_0$ ?

6. Маятник совершает колебания в среде, для которой логарифмический декремент затухания  $\theta_0 = 1,5$ . Каким будет декремент затухания, если сопротивление среды увеличится в  $n = 2$  раза?

7. В последовательном колебательном контуре возбуждаются затухающие электрические колебания. Параметры контура:  $L = 10^{-2} \text{ Гн}$ ,  $C = 0,405 \text{ мкФ}$ ,  $R = 2 \text{ Ом}$ . Во сколько раз уменьшается напряжение на конденсаторе за один период колебаний?

8. Мощность, выделяющуюся на катушке индуктивности, (рис. 1.28) можно определить методом трех параметров. Чему будет равна эта мощность в данной цепи, если известны показания амперметров и значение сопротивления  $R$ ?

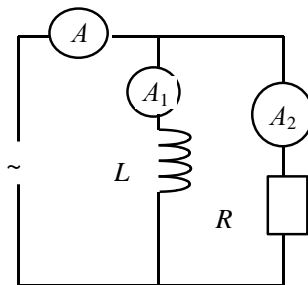


Рис. 1.28

## 2. ВОЛНЫ

### Вариант 1

1. Точечный источник испускает звуковые колебания в изотропной среде с частотой  $\nu = 1$  кГц. На расстоянии  $r_1 = 5$  м от источника амплитуда колебаний частиц среды  $A_1 = 0,05$  мм. Найти амплитуды колебаний скорости частиц в точке на расстоянии  $r_2 = 10$  м от источника.

2. На плоскую стенку падает синусоидальная звуковая волна с частотой колебаний  $\nu$  и амплитудой смещения  $A$ . Определить давление, оказываемое волной на стенку, как функцию  $\rho$  времени. Плотность среды  $\rho$ , скорость звука  $c$ .

3. Частота основного тона натянутой струны длиной  $l = 1$  м равна  $\nu = 600$  Гц. Определить скорость распространения волны по струне.

4. Определить частоту колебаний основного тона столба воздуха в органной трубе, открытой с одного конца. Длина трубы  $l = 85$  см, температура воздуха  $T = 20$  °С.

5. Радиолокатор работает на длине волны  $\lambda = 20$  см и излучает 200 импульсов в секунду длительностью  $\tau = 0,02$  мкс каждый. Определить число колебаний в одном импульсе и глубину действия радиолокатора.

6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда колебаний напряженности магнитного поля в волне  $H_m = 0,08$  А/м. Определить амплитуду колебаний напряженности электрического поля  $E_m$  и среднюю объемную плотность энергии электромагнитного поля в волне.

### Вариант 2

1. Плоская продольная волна распространяется вдоль оси  $X$ . На рис. 2.1 представлена зависимость смещения точек среды. Указать направление скорости частиц в точках  $A, B, C$ .

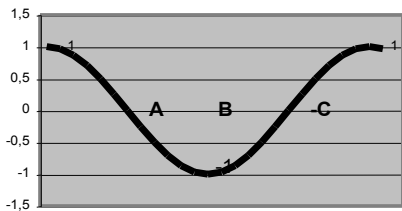


Рис. 2.1

2. Звуковая волна с частотой колебаний  $\nu = 1$  кГц и амплитудой  $A = 0,1$  мм распространяется в упругой среде. Длина волны  $\lambda = 0,75$  м. Найти скорость волны и максимальную скорость колебания частиц среды в волне.



3. Показать, что в идеальном газе при температуре  $T$  тепловые скорости движения молекул приблизительно соответствуют скорости звука.

4. Звуковая волна в воздухе имеет частоту  $\nu = 500$  Гц и интенсивность  $I = 10 \text{ Вт} / \text{м}^2$ , что соответствует порогу болевого ощущения. Найти амплитуду смещения молекул воздуха в волне.

5. Электромагнитная волна с частотой  $\nu = 1$  МГц проходит из вакуума в немагнитную среду с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 5$ . Определить длину волны в вакууме и в среде.

6. Электромагнитная волна с циклической частотой  $\omega$  распространяется в диэлектрической среде с  $\epsilon = 3$  (магнитная проницаемость  $\mu = 1$ ). Напряженность электрического поля в волне изменяется согласно уравнению  $E_y = 10 \cos \omega t$  В/м. Определить вектор Пойнтинга.

### Вариант 3

1. Уравнение колебаний частиц среды в источнике звука при  $x = 0$  имеет вид:

$$\xi = 0,1 \cos 1000\pi t \text{ (м)}.$$

Найти смещение частиц среды в точке с координатой  $x = 0,6$  м. Скорость распространения волны  $c = 300$  м/с.

2. С какой силой нужно натянуть стальную гитарную струну длины  $l = 60$  см диаметром  $d = 1$  мм, чтобы она звучала с частотой  $\nu = 200$  Гц на первой резонансной частоте?

3. По прямому шоссе со скоростью  $v_1 = 60$  км/час движется автомобиль. Его догоняет патрульная машина с включенным звуковым сигналом частоты  $\nu_0 = 1$  кГц, движущаяся со скоростью вдвое большей. Какой частоты сигнал будет слышать водитель автомобиля? Скорость звука в воздухе  $c = 300$  м/с.

4. Медный стержень длины  $l = 1$  м с модулем Юнга  $E = 10^{11}$  Па закреплен в середине. Определить частоты продольных резонансных колебаний стержня. Плотность меди  $\rho = 8,9$  г/см<sup>3</sup>.

5. По прямому цилиндрическому проводнику течет ток силой  $I$ . Определить поток вектора Пойнтинга через боковую поверхность участка проводника сопротивлением  $R$ .

6. Электромагнитная волна с частотой  $\nu = 30$  МГц переходит из вакуума в немагнитную среду. При этом длина волны изменилась на  $\Delta\lambda = 3$  м. Найти диэлектрическую проницаемость среды на этой частоте колебаний.

#### Вариант 4

1. Уравнение бегущей плоской волны имеет вид  $\xi = 0,05 \cos \times 300t + 3x - 4y + 5z$ . Определить длину волны, скорость распространения волны, амплитуду скорости смещения частиц среды в волне.

2. Плоская звуковая волна распространяется в воздухе. Частота колебаний в волне  $\nu = 5$  кГц, температура воздуха  $T = 27^\circ \text{C}$ . Определить разность фаз колебаний в волне в двух точках, расположенных на расстоянии  $\Delta r = 3,5$  см друг от друга.

3. Порог слышимости звуковой волны с частотой  $\nu = 0,5$  кГц в воздухе соответствует интенсивности волны  $I = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Показать, что амплитуда смещения молекул в волне равна приблизительно  $10^{-10}$  м (порядка размеров молекул).

4. При какой глубине океана в нем могут появиться («раскачаться») физиологически опасные для человека инфразвуковые колебания с частотой  $\nu = 7$  Гц? Скорость звука в воде  $c = 1450$  м/с.

5. Плотность потока теплового излучения Солнца, падающего на Землю на поверхности Земли  $R_T = 1,35$  кВт/м<sup>2</sup>. Определить амплитуду напряженности электрического поля в электромагнитной волне, падающей на Землю.

6. В диэлектрической немагнитной среде вдоль оси  $x$  распространяется электромагнитная волна, в которой колебания электрического поля определяются уравнением  $E = 10 \cos(10000t - 0,0001x)$  В/м. Определить диэлектрическую проницаемость среды  $\epsilon$  и амплитуду колебания магнитного поля в волне.

#### Вариант 5

1. Волна с периодом колебаний  $T = 0,01$  с распространяется вдоль оси  $X$  со скоростью  $c = 500$  м/с. Найти разность фаз колебаний для точек  $x_1 = 2$  м и  $x_2 = 5$  м.

2. Две звуковые волны – одна в воде, другая в воздухе – имеют одинаковую интенсивность. Определить отношение амплитуд давлений в волнах. Скорость звука в воде  $c_1 = 1450$  м/с, в воздухе  $c_2 = 340$  м/с.

3. Мощность точечного источника звука  $P = 0,1$  Вт. Звуковая волна распространяется в изотропной среде. Определить средний поток энергии в волне на расстоянии  $r = 1$  м от источника через площадку площадью  $S_{\perp} = 20$  см<sup>2</sup>.

4. От точечного источника в воздухе распространяется звуковая волна. На расстоянии  $r_0 = 10$  м от источника уровень громкости  $L = 10$  дБ. Считая, что поглощение звука в волне отсутствует, найти уровень громкости на расстоянии  $r$  равном 200 500 м и 1 км.

5. В вакууме при отражении от плоской поверхности устанавливается плоская электромагнитная волна, напряженность электрического поля в которой  $E = E_m \cos kx \cos \omega t$ ,  $E_m, k, \omega - \text{const}$ . Определить уравнение колебаний для напряженности магнитного поля в падающей волне.

6. В вакууме вдоль оси  $X$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда колебаний магнитного поля в волне  $H_m = 0,05$  А/м. Определить амплитуду колебаний электрического поля, среднюю плотность энергии в волне  $\langle w \rangle$ , интенсивность волны  $I$ .

### Вариант 6

1. Изобразить графически звуковую волну как функцию смещения от координаты  $\xi$   $x$  в моменты времени  $t_1 = 0$  и  $t_2 = \frac{T}{4}$  ( $T$  – период колебаний).

2. Плоская волна распространяется вдоль оси  $X$ . Скорость смещения частиц в волне определяется уравнением  $\dot{\xi} = 0,5 \cos 500t - 10x$  м/с. Определить длину волны и ее скорость. Написать уравнение для смещения частиц в волне  $\xi(t, x)$ .

3. Две звуковые волны распространяются – одна в воде, другая в воздухе. Давление в обоих волнах одинаково  $P_1 = P_2$ . Определить от-

ношение интенсивностей волн  $I_1 / I_2$ . Скорость звука в воде  $c_1 = 1450$  м/с, в воздухе  $c_2 = 340$  м/с.

4. Автомобиль движется по прямому шоссе со скоростью  $v = 60$  км/час. Навстречу автомобилю распространяется звуковая волна с частотой  $\nu_0 = 1$  кГц. Температура воздуха  $T = -23^\circ\text{C}$ . Считая, что отражение звуковой волны от автомобиля происходит как от плоской стенки, найти частоту отраженной волны.

5. Плоская электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме с колебаниями полей:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_m \cos \omega t - kx, \quad \mathbf{H} = \mathbf{H}_m \cos \omega t - kx.$$

Волна отражается от плоскости, перпендикулярной оси  $X$ . Написать уравнения колебания полей в отраженной волне.

6. По прямому проводу радиуса  $r$  течет ток силой  $I$ . Сопротивление участка провода длины  $l$  равно  $R$ . Определить вектор Пойнтинга для данного участка.

### Вариант 7

1. Плоская упругая волна распространяется вдоль оси  $X$  со скоростью  $c = 300$  м/с. Скорость смещения частиц среды в плоскости  $x = 0$  определяется уравнением  $\dot{\xi} = 5 \sin 50t$  м/с. Составить уравнение для колебаний смещения частиц среды в плоскости  $x = 2$  м.

2. Определить частоты наименьших колебаний  $\nu_1, \nu_2, \nu_3$ , при которых в медном стержне длиной  $l = 1$  м, закрепленном в середине, образуются стоячие волны. Модуль Юнга для меди  $E = 10^{11}$  Па.

3. Органная труба длиной  $l = 0,85$  м открыта с одного конца. В трубе возбуждается стоячая волна. Определить первые три частоты наименьших колебаний  $\nu_1, \nu_2, \nu_3$ . Температура воздуха  $T = 17^\circ\text{C}$ .

4. Найти отношение скоростей звука в водороде при температурах  $T_1 = -40^\circ\text{C}$  и  $T_2 = +40^\circ\text{C}$ .

5. При переходе электромагнитной волны с частотой  $\nu = 30$  МГц из вакуума в немагнитную среду ( $\mu = 1$ ) ее скорость уменьшается в три раза. Найти изменение длины волны.

6. Длина волны реликтового излучения в космосе  $\lambda \approx 0,1$  мм. Амплитуда колебаний напряженности электрического поля в волне  $E_m \cong 10^{-6}$  В/м. Определить средний поток энергии, падающей на антенну радиотелескопа, площадью  $S = 30\text{м}^2$ .

### Вариант 8

1. Упругая волна переходит из среды, в которой фазовая скорость волны  $c$ , в среду, в которой фазовая скорость в три раза меньше. Как при этом изменится длина волны и частота колебаний в волне?

2. Три синусоидальные волны движутся вдоль оси  $X$ . Колебания в волнах происходят с одинаковой частотой. Амплитуды волн  $A$ ,  $A/2$ ,  $A/3$ . Сдвиг по фазе колебаний относительно первой волны во второй волне  $\varphi_1 = \pi/2$ , в третьей волне  $\varphi_2 = \pi$ . Написать уравнение волны, образующейся в результате суперпозиции этих трех волн.

3. Звуковая волна с частотой  $\nu = 313$  Гц имеет интенсивность  $I = 1,13$  Вт/м<sup>2</sup> на расстоянии  $r = 30$  м от источника звука. Определить давление в звуковой волне на этом расстоянии и в источнике звука.

4. В океане две подводные лодки движутся встречными курсами. Скорость первой лодки  $\nu_1 = 36$  км/час, второй –  $\nu_2 = 72$  км/час. Гидроакустический сигнал с частотой  $\nu_0 = 1$  кГц испускается сонаром первой лодки. Какой частоты сигнал, отраженный от второй лодки, будет регистрировать гидроакустик?

5. По коаксиальному кабелю течет постоянный ток силой  $I$ . Напряжение на концах кабеля  $U$  (рис. 2.2). Определить поток энергии через поперечное сечение кабеля.

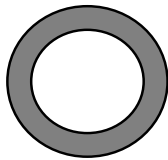


Рис. 2.2

6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда колебаний электрического поля в волне  $E_m = 0,775$  В/м. Определить энергию, переносимую волной, через круговую площадку радиуса  $r = 0,632$  м за промежуток времени  $\Delta t = 1$  мкс.

### Вариант 9

1. Скорость упругой волны в стальном стержне  $c = 5,5$  км/с, длина волны  $\lambda = 0,1$  мм. Написать уравнение плоской бегущей волны.

2. На расстоянии  $1070 \text{ м}$  от приемника волн по железнодорожному рельсу ударяют молотком. Приемник регистрирует волну, пришедшую по рельсу на  $3 \text{ секунды}$  раньше, чем звуковая волна приходит по воздуху. Определить скорость звука в стальном рельсе, если температура воздуха  $T = 4^\circ \text{C}$ .

3. Звуковая волна от точечного источника распространяется в воздухе. Частота колебаний в волне  $\nu = 3 \text{ кГц}$ . На расстоянии  $r_1 = 100 \text{ м}$  от источника звука уровень громкости  $L_1 = 60 \text{ дБ}$ . найти уровень громкости на расстоянии  $r_2 = 200 \text{ м}$ , если: 1) поглощение звука отсутствует; 2) коэффициент поглощения  $\beta = 2,42 \cdot 10^3 \text{ 1/м}$ .

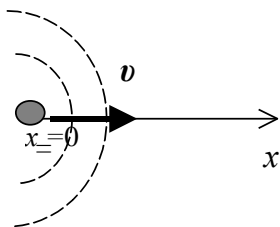


Рис. 2.3

4. Точечный источник звука испускает волну длиной  $\lambda_0$ . Источник начинает двигаться вдоль оси  $X$  со скоростью  $v = c/2$ . (рис. 2.3). Как изменится длина волны в направлении  $x > 0$  и  $x < 0$ ?

5. Плоская электромагнитная волна, амплитуда напряженности магнитного поля в которой  $H_m = 0,05 \text{ А/м}$ , падает на некоторую поверхность. Поверхность полностью поглощает поток энергии, падающий на нее. Определить давление, оказываемое волной на поверхность. Волна распространяется в вакууме.

6. Световой импульс рубинового лазера представляет собой волновой цуг с постоянной амплитудой. Длительность импульса  $\tau = 0,1 \text{ мкс}$ , энергия  $W = 0,3 \text{ Дж}$ . Диаметр светового пучка  $d = 0,5 \text{ мм}$ . Определить амплитуду колебания полей в электромагнитной волне. Свет распространяется в вакууме.

### Вариант 10

1. Смещение точки, находящейся на расстоянии  $x = 10 \text{ см}$  от источника колебаний, от положения равновесия в момент времени  $t = T/7$  равно половине амплитуды. Определить длину плоской бегущей волны.

2. Предел прочности малоуглеродистой стали  $600 \text{ МПа}$ . Определить максимальную частоту основного тона колебаний струны длиной  $l = 1 \text{ м}$ , изготовленной из такой стали.

3. В точке  $r = 0$  в однородной, изотропной среде находится точечный источник звука мощностью  $P = 2$  Вт. Определить интенсивность звуковой волны на расстоянии  $r = 5$  м от источника. Скорость волны  $c = 340$  м/с, затухание отсутствует.

4. Найти отношение частот колебаний двух одинаковых струн, если относительная деформация одной струны  $\frac{\Delta l_1}{l} = 0,02$ , другой –  $\frac{\Delta l_2}{l} = 0,04$ .

5. В вакууме распространяется электромагнитная волна

$$E_y = 100 \cos \omega t - kx \quad \text{В/м},$$

где  $k = 0,5$  1/м.

Найти величину напряженности магнитного поля в точке с координатой  $x = 7,7$  м в момент времени  $t = 33$  нс.

6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна с циклической частотой  $\omega$ . Величина вектора Пойнтинга в волне  $\langle j \rangle$ . Найти амплитуду колебания плотности тока смещения в этой волне.

### Вариант 11

1. Смещения частиц струны в волне подчиняются уравнению:

$$y = 1,8 \sin 317t - 23,8x \quad (\text{мм}).$$

Сила натяжения струны  $F = 16,3$  Н. Найти линейную плотность струны.

2. Предельная высота звука при пении вокалистами равна приблизительно  $\nu = 2,5$  кГц. С какой силой нужно натянуть струну длиной  $l = 0,5$  м, диаметром  $d = 0,5$  мм, чтобы основной тон ее колебаний имел такую частоту?

3. Однородный канат длиной  $l$  подвешен вертикально за один конец и растянут под действием собственной силы тяжести. На нижнем конце каната возбуждается колебание, которое распространяется вверх в виде волны (рис. 2.4). Определить скорость распространения волны и время прохождения волной всей длины каната.

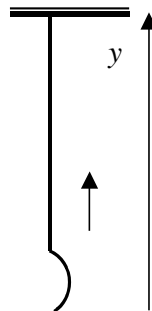


Рис. 2.4

4. По шоссе едет патрульный автомобиль с включенным сигналом. Стоящий на обочине пешеход слышит звуковой сигнал частоты  $\nu_1 = 560$  Гц, когда автомобиль движется к нему, и сигнал частоты  $\nu_2 = 480$  Гц, когда автомобиль движется от него. Определить скорость автомобиля, если температура воздуха  $T = 0^\circ\text{C}$ .

5. Плотность потока излучения солнечной энергии на орбите Земли  $I = 1340$  Вт/м<sup>2</sup>. Определить амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей плоской электромагнитной волны с такой плотностью потока энергии.

6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, магнитная составляющая которой  $H_m = 0,05 \sin \omega t - 3\pi y - 4\pi x$  А/м. Определить частоту колебаний поля в волне и средний поток энергии через плоскую поверхность  $S = 0,5$  м<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно оси  $X$ .

### Вариант 12

1. Уравнение сферической волны имеет вид  $\xi = A r \cos 300t - 6r$ . На каком расстоянии от источника колебаний находятся точки, которые совершают колебания в волне в противофазе, а амплитуды колебаний отличаются в два раза?

2. Плоская звуковая волна распространяется в воздухе при температуре  $T = 0^\circ\text{C}$ . Частота колебаний в волне  $\nu = 400$  Гц, амплитуда колебаний смещения частиц  $\xi_m = 0,1$  мм. Написать уравнение волны. Определить максимальную скорость частиц среды, интенсивность волны.

3. Определить начальную длину струны  $l$ , если при ее укорочении на 10 мм частота колебаний увеличивается в 1,5 раза. Сила натяжения струны не меняется.

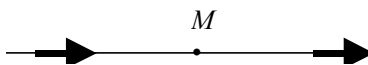


Рис. 2.5

4. Два электропоезда идут с одинаковой скоростью  $v = 90$  км/час с интервалом 2 км (рис. 2.5). В момент, когда они находились симметрично относительно точки  $M$ , расположенной вблизи железнодорожного пути, оба поезда издают звуковой сигнал частотой  $\nu_0 = 500$  Гц. Что будет слышать человек, находящийся в точке  $M$ ? Скорость звука принять  $c = 340$  м/с.

метрично относительно точки  $M$ , расположенной вблизи железнодорожного пути, оба поезда издают звуковой сигнал частотой  $\nu_0 = 500$  Гц. Что будет слышать человек, находящийся в точке  $M$ ? Скорость звука принять  $c = 340$  м/с.



5. Ближайшая к нашей Солнечной системе звезда  $\alpha$ -Центавра находится на расстоянии 4,3 световых года. Предположим, что некоторая планета вращается вокруг этой звезды и жители планеты могут обрабатывать электромагнитные сигналы. Определить интенсивность электромагнитного сигнала на этой планете, если передающая станция на Земле имеет выходную мощность 1 МВт.

6. Некоторая стоячая электромагнитная волна определяется уравнениями

$$E_y = E_m \sin kx \sin \omega t, \quad H_z = H_m \cos kx \cos \omega t.$$

Показать, что данные уравнения удовлетворяют дифференциальным уравнениям для электромагнитной волны. Определить вектор Пойнтинга, показать, что среднее значение вектора Пойнтинга равно нулю.

### Вариант 13

1. Плоская звуковая волна в воздухе представлена уравнением колебаний смещения частиц:

$$\xi = 0,5 \sin 1980t - 6x \quad \text{мм}.$$

Определить: скорость волны, частоту колебаний, длину волны, амплитуду скорости частиц среды в волне, амплитуду давления в волне, интенсивность волны. Плотность воздуха принять  $\rho = 1,28 \text{ кг/м}^3$ .

2. В упругой среде плотности  $\rho$  вдоль оси  $X$  распространяется волна  $\xi = A \cos \omega t - kx$ . Написать выражение для вектора Умова  $\vec{j}$  (плотность потока энергии) этой волны.

3. Струна гитары звучит с частотой  $\nu = 400$  Гц. В каком месте следует прижать струну к грифу гитары, чтобы частота ее звучания стала равной 1000 Гц? Можно ли, прижимая струну, понизить частоту ее звучания?

4. Звуковая волна распространяется по узкой трубе длиной 10 м. Уровень интенсивности звука у начала трубы  $I_0 = 10$  дБ, у конца трубу  $I = 9,65$  дБ. Определить коэффициент поглощения звука в среде.

5. Плоская электромагнитная волна длиной  $\lambda = 3,18$  м распространяется вдоль оси  $X$  в вакууме. Амплитуда колебания напряженности электрического поля в волне  $E_m = 288$  В/м. Определить: частоту колебаний в волне, интенсивность волны, радиационное давление, которое оказывает волна на зеркальную поверхность.

6. Коаксиальный кабель с внутренним радиусом  $a$ , внешним –  $b$  используется для передачи тока между батареей с ЭДС  $\varepsilon$  и нагрузкой  $R$ . Определить величину напряженностей электрического и магнитного полей в области  $a < r < b$ . Определить величину и направление вектора Пойнтинга внутри кабеля.

### Вариант 14

1. Смещение частиц воздуха в плоской звуковой волне представлено уравнением:  $\xi = 0,05 \sin 400\pi t - 3,8x$  (мм)

Плотность воздуха  $\rho = 1,3$  кг/м<sup>3</sup>. Определить давление в волне, интенсивность волны.

2. Амплитуда давления в звуковой волне  $\Delta P = 10$  Па (громкий звук). Найти поток энергии, падающий за 1 с в уши человека. Считать площадь ушной раковины  $S \cong 5$  см<sup>2</sup>.

3. Две одинаковые струны длиной  $l = 1,5$  м совершают колебания с частотой  $\nu = 1,34$  кГц. На какую величину нужно укоротить одну струну (не меняя силы натяжения), чтобы получить биения с частотой  $\nu_b = 9$  Гц?

4. Свисток, издающий звук с частотой  $\nu_0 = 500$  Гц, вращается по кругу радиуса  $R = 0,8$  м с частотой  $n = 5$  об/с. Звук распространяется в воздухе при температуре  $T = 27$  °С. Определить границы частоты (полосу частот), слышимые неподвижным наблюдателем на достаточно большом расстоянии.

5. Плоская электромагнитная волна имеет следующие параметры:  $E_m = 5$  В/м,  $\lambda = 100$  м. Определить энергию, переносимую волной за время  $t = 1$  мин через площадку  $S_{\perp} = 1$  м<sup>2</sup>.

6. Средняя мощность излучения радиостанции, распределенного равномерно по поверхности полусферы с центром в точке расположения станции  $P = 0,1$  МВт. Найти величину вектора Пойнтинга в электромагнитной волне в точке, находящейся на расстоянии  $r = 10$  км от станции.

### Вариант 15

1. Амплитуды колебания смещения частиц и скорости частиц в звуковой волне равны соответственно  $\xi_0 = 0,5$  мм,  $v_m = 1,38$  м/с. Написать уравнение волны. Найти смещение частиц и скорость частиц в точке, отстоящей от источника звука на расстоянии  $x = \lambda / 6$  через  $t = T / 4$  после начала колебаний.

2. На расстоянии  $100$  м от точечного источника звука в воздухе амплитуда давления в звуковой волне  $\Delta P = 0,2$  Па, частота колебаний  $\nu = 500$  Гц. Считая, что звук распространяется без затухания, определить: мощность источника звука, интенсивность волны, расстояние, на котором интенсивность волны уменьшается до порога слышимости.

3. По струне, имеющей линейную плотность  $\rho_{\text{л}}$ , распространяется затухающая волна, смещение в которой определяется уравнением  $\xi = A_0 e^{-\beta x} \sin \omega t - kx$ . Определить плотность потока энергии в волне в точке с координатой  $x$ .

4. Две подводные лодки движутся навстречу друг другу. Скорость первой –  $v_1 = 20$  м/с. С первой лодки испускается гидроакустический сигнал частотой  $\nu_0 = 50$  кГц. После отражения от второй лодки гидроакустик устанавливает частоту отраженного сигнала  $\nu = 54$  кГц. Определить скорость второй лодки. Скорость звука в воде  $c = 1450$  м/с.

5. В среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3$  и  $\mu = 1$  распространяется электромагнитная волна. Длина волны  $\lambda = 50$  см. Амплитуда напряженности магнитного поля в волне  $H_m = 0,05$  А/м. Написать уравнение волны для электрической составляющей поля.

6. Сформулировать волновое уравнение для электромагнитной волны в проводящей среде. Удельное сопротивление среды  $\rho$ , диэлектрическая и магнитная проницаемости  $\epsilon$  и  $\mu$ .

### 3. ОПТИКА

#### Вариант 1

1. (Многолучевая интерференция). В некоторую точку пространства приходят  $N$  монохроматических световых волн с малым сдвигом фазы колебаний:

$$E = E_m \cos \omega t + m - 1 \delta, m = 1, 2, 3, \dots, N.$$

Определить амплитуду результирующего колебания в волне (воспользоваться графическим методом сложения колебаний).

2. В опыте Юнга два когерентных источника, расстояние между которыми  $d = 1$  мм, излучают свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм. На экране, расположенном на расстоянии  $l = 2$  м наблюдается интерференционная картина. Определить координату  $y_i$  первых трех максимумов интерференции.

3. В опыте Ллойда монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,5$

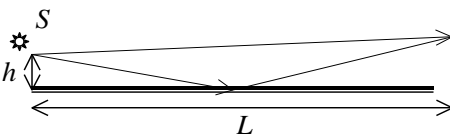


Рис. 3.1

мкм от источника  $S$  интерферирует с отраженным от зеркала светом (рис. 3.1). Расстояние от источника света до экрана  $L = 1$  м, от источника света до зеркала  $h = 1$  мм. Определить ширину интерференционных полос.

4. Расстояние между десятым и пятнадцатым темными кольцами Ньютона при наблюдении в отраженном свете  $\Delta r = 2,34$  мм. Источник света – лазер с длиной волны  $\lambda = 0,74$  мкм. Определить радиус кривизны линзы.

5. На непрозрачную пластину со щелью шириной  $b = 0,1$  мм падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,75$  мкм. Определить угловое расстояние между минимумами дифракции первого, второго, третьего порядка.

6. На пути плоской монохроматической световой волны интенсивностью  $I_0$  установлен экран. Перед экраном диафрагма с круглым отверстием. Найти интенсивность света в центре экрана напротив отвер-

ствия, если радиус отверстия соответствует: а) первой зоне Френеля, б) половине первой зоны.

7. Дифракционная решетка содержит 100 штрихов на миллиметр длины. На решетку падает монохроматический свет. Угол между максимумами третьего порядка  $\Delta\varphi = 20^\circ$ . Определить длину волны света.

8. При аэрофотосъемке местности используется фотокамера с объективом с фокусным расстоянием  $F = 10$  см и диаметром  $D = 5$  см. Фотопленка имеет разрешающую способность 100 линий на миллиметр. Съемка ведется с высоты  $h = 10$  км. Определить размер предметов, которые могут быть разрешены на фотографии.

9. Угол преломления луча света в жидкости  $\beta = 30^\circ$ . Преломленный луч при этом максимально поляризован. Определить скорость света в жидкости.

10. Естественный свет падает на плоскую грань монокристалла (рис. 3.2). Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей света. Кристалл положительный, направление оптической оси указано пунктиром.

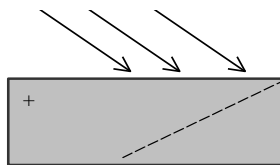


Рис. 3.2

## Вариант 2

1. Источник света излучает волны в диапазоне  $0,49 < \lambda < 0,51$  мкм. Определить для этого источника: время когерентности, длину когерентности. Сравнить результат с излучением лазера (длина волны  $\lambda = 0,76$  мкм,  $\Delta\lambda = 0,1$  нм).

2. Определить наименьшую толщину стеклянной пластинки ( $n = 1,5$ ), если при освещении ее белым светом под углами  $\alpha_1 = 45^\circ$  и  $\alpha_2 = 60^\circ$  она окрашена в отраженном свете в красный цвет  $\lambda_{кр} = 0,74$  мкм .

3. Объектив оптического прибора покрыт тонкой пленкой (просветленная оптика)

Показатель преломления стекла  $n$ , показатель преломления пленки  $n_{пл} = \sqrt{n}$ . Показать, что при нормальном падении света коэффициент

прохождения света внутрь объектива будет больше, чем для объектива без пленки.

4. Диаметр темного кольца Ньютона при заполнении зазора между линзой и пластинкой жидкостью уменьшился с  $d_1 = 1,42$  см до  $d_2 = 1,27$  см. Определить показатель преломления жидкости. Наблюдение ведется в отраженном свете.

5. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм падает нормально на поверхность стеклянного клина. Интерференция наблюдается в отраженном свете, при этом расстояние между соседними максимумами  $\Delta h = 0,21$  мм. Найти угол между гранями клина.

6. Определить интенсивность света в центре дифракционной картины от круглого отверстия, диаметр которого равен половине диаметра первой зоны Френеля. Интенсивность падающего света  $I_0$ .

7. Построить примерный график зависимости интенсивности света  $I$  от  $\sin \varphi$  для дифракционной решетки с числом щелей  $N = 5$  и отношением периода решетки к ширине щели  $d/a = 2$ .

8. На дифракционную решетку шириной  $l = 10$  мм и общим числом штрихов

$N = 5000$  нормально падает плоская световая волна. Найти наименьшую разность длин волн, которые могут быть разрешены этой решеткой в области  $\lambda \approx 545$  нм.

9. Плоско-поляризованный свет с интенсивностью  $I_0 = 100$  Вт/м<sup>2</sup> проходит последовательно через два идеальных поляризатора, плоскости которых образуют с плоскостью колебаний в исходном луче углы  $\alpha_1 = 20^\circ$  и  $\alpha_2 = 50^\circ$  (углы отсчитываются в одном направлении). Определить интенсивность света при выходе из второго поляризатора.

10. При прохождении плоской монохроматической световой волной расстояния  $l_1 = 10$  мм ее интенсивность уменьшается на 1 %, а при прохождении расстояния  $l_2 = 4,6$  м – на 99 %. Определить коэффициент поглощения света для данной среды.

### Вариант 3

1. Показать, что при сложении некогерентных световых волн интенсивность света равна сумме интенсивностей исходных волн.

2. Пучок лазерного излучения с длиной волны света  $\lambda = 0,75$  мкм падает нормально на плоскость с двумя щелями. Расстояние между

щелями  $d = 1$  мм. За плоскостью на расстоянии  $L = 2$  м установлен экран, на котором наблюдается интерференция (опыт Юнга). Определить положение десятого максимума интерференции. На какое число полос сместится интерференционная картина, если одну из щелей перекрыть стеклянной пластинкой ( $n = 1,5$ ) толщиной 15 мкм?

3. На тонком стеклянном клине в проходящем свете при его нормальном падении наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между полосами  $\Delta h = 2$  мм, длина волны света  $\lambda = 0,58$  мкм. Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ . Найти угол при вершине клина.

4. В опыте с кольцами Ньютона используется источник монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм. Радиус кривизны линзы  $R = 0,5$  м. Определить ширину третьего темного кольца (считать, что  $\Delta r \ll r$ ). Наблюдение проводится в отраженном свете.

5. Между точечным источником света и экраном расположена диафрагма с круглым отверстием радиуса  $r$ , который может меняться. Расстояние от источника света до диафрагмы  $a = 1$  м, от диафрагмы до экрана  $b = 1,25$  м. Максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается при  $r_1 = 1$  мм, а следующий максимум – при  $r_2 = 1,3$  мм. Определить длину волны света.

6. Свет от ртутной лампы падает нормально на дифракционную решетку. Угол дифракции для  $\lambda_1 = 546$  нм в спектре первого порядка  $\varphi_1 = 5,4^\circ$ . Найти угол дифракции для  $\lambda_2 = 436$  нм в спектре второго порядка. Определить угловую ширину спектра второго порядка.

7. Показать, что при нормальном падении света на дифракционную решетку ее максимальная разрешающая способность  $R \leq l / \lambda$  ( $l$  – ширина решетки,  $\lambda$  – длина волны света).

8. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд, и отражается от дна сосуда. Отраженный луч полностью поляризован при падении под углом  $\alpha = 42,5^\circ$ . Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ . Определить: показатель преломления жидкости, предельный угол полного внутреннего отражения на границе жидкость–стекло.

9. Чему равен угол между оптическими осями поляризатора и анализатора света, если интенсивность света, прошедшего через оптическую систему, уменьшается в 8 раз? Поглощением и отражением света пренебречь.

10. На сколько процентов уменьшается интенсивность света при прохождении стекла толщиной 4 мм за счет: поглощения света (коэффициент  $\alpha$ ) поглощения стекла  $\kappa \cong 1,23 \text{ м}^{-1}$ ), б) при отражении на первой поверхности. Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

#### Вариант 4

1. Найти интенсивность светового потока  $I$ , образованного наложением двух когерентных волн, поляризованных взаимно-перпендикулярно. Значения интенсивностей исходных волн  $I_1, I_2$ , разность фаз колебаний в волнах равна нулю.

2. Белый свет падает на стеклянную пластинку ( $n = 1,5$ ) под углом  $\alpha = 30^\circ$ . Толщина пластинки  $h = 1$  мкм. Какие длины волн в пределах видимой части спектра усиливаются в отраженном пучке?

3. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если зеленый свет  $\lambda_1 = 0,5$  мкм заменить на красный  $\lambda_2 = 0,65$  мкм ?

4. Поверхность линз покрывают тонкой пленкой (просветленная оптика). Чему должны быть равны показатель преломления пленки и ее толщина, чтобы свет с длиной волны  $\lambda$  проходил внутрь линзы с наименьшими потерями при отражении? Показатель преломления стекла  $n$ .

5. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,57$  мкм падает нормально на дифракционную решетку. Одному из дифракционных максимумов соответствует угол дифракции  $\varphi = 35^\circ$ , а наибольший порядок спектра  $m = 5$ . Определить период дифракционной решетки.

6. На щель шириной  $b = 0,01$  мм нормально падает свет с длиной волны  $\lambda = 0,57$  мкм. Определить ширину изображения щели на экране, отстоящем на расстоянии  $L = 1$  м от щели.

7. Определить угловую дисперсию дифракционной решетки  $D$  для длины волны  $\lambda = 0,55$  мкм в спектре третьего порядка. Ширина решетки  $l = 2$  см, общее число штрихов решетки  $N = 4000$ . Свет падает нормально.

8. Найти минимальный угол  $\delta\varphi$  (в секундах дуги) между двумя звездами, различимыми в телескоп с диаметром объектива  $D = 10$  см.



Длина волны света соответствует наибольшей чувствительности глаза человека  $\lambda = 0,55$  мкм.

9. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла (рис. 3.3). Построить в соответствии с принципом Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей с указанием их поляризации. Кристалл отрицательный.

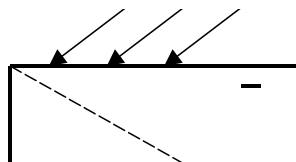


Рис. 3.3

10. На пути частично поляризованного пучка света установлена призма Николя. При повороте призмы на угол  $\varphi = 60^\circ$  относительно максимального пропускания света, интенсивность прошедшего через призму света уменьшается в 3 раза. Найти степень поляризации падающего света.

### Вариант 5

1. На экран с двумя узкими параллельными щелями падает солнечный свет. Угловой размер Солнца, видимый с Земли,  $\alpha \approx 0,01$  рад. При каком наименьшем расстоянии между щелями может наблюдаться интерференция света за экраном?

2. В опыте Юнга на пути одного луча установлена трубка длины  $l = 2$  см с плоскопараллельными стеклянными основаниями (трубка наполнена воздухом). На экране наблюдается интерференция. Затем трубка наполняется хлором и при этом наблюдается смещение интерференционной картины на  $N = 20$  полос. Наблюдения проводятся с монохроматическим светом ( $\lambda = 0,589$  мкм – желтая линия натрия). Принимая показатель преломления воздуха за  $n = 1,000276$ , найти показатель преломления хлора. В какую сторону произойдет смещение интерференционных полос?

3. Белый свет, падающий нормально на мыльную пленку ( $n = 1,33$ ) дает в отраженном свете два максимума интерференции: на длинах волн  $\lambda_1 = 0,63$  мкм и  $\lambda_2 = 0,45$  мкм. Определить толщину пленки.

4. Найти расстояние между двадцатым и двадцать первым кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и третьим равно  $\Delta r = 1$  мм. Наблюдение ведется в отраженном свете.

5. Плоская щель освещается светом, содержащим две длины волны  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  такие, что первый дифракционный минимум для  $\lambda_1$  совпадает со вторым минимумом для  $\lambda_2$ . Определить отношение  $\lambda_1 / \lambda_2$ . Совпадают ли минимумы других порядков  $m$  для этих длин волн? Оценить эти длины волн для видимой части спектра.

6. Какова интенсивность света в фокусе зональной пластинки, если закрыть все зоны Френеля кроме первой? Интенсивность света без пластинки  $I_0$ .

7. Могут ли перекрываться спектры первого и второго порядков дифракционной решетки при освещении ее белым светом?  
 $0,38 \leq \lambda \leq 0,76$  мкм

8. Фары автомобиля расположены на расстоянии  $h = 1,2$  м друг от друга. На каком расстоянии глаз наблюдателя может воспринимать их как отдельные источники света? Диаметр зрачка глаза  $D = 5$  мм. Длину волны света принять  $\lambda = 0,55$  мкм.

9. Определить угол полной поляризации света, отраженного от стекла ( $n = 1,5$ ). Найти степень поляризации преломленного света при падении света под этим углом.

10. Во сколько раз уменьшается интенсивность естественного света при прохождении его последовательно через два поляроида, угол между оптическими осями которых  $\varphi = 60^\circ$ , если в каждом поляроиде теряется 10 % от падающего света при отражении и поглощении?

## Вариант 6

1. При каком условии суперпозиция двух электромагнитных волн одинаковой частоты с некоторым сдвигом по фазе колебаний приводит к тому что интенсивность результирующей волны равна сумме интенсивностей исходных волн:  $I = I_1 + I_2$  ?

2. Плоская световая волна нормально падает на пленку масла, покрывающую стеклянную поверхность. Длина волны света может меняться. Полное отсутствие отражения света наблюдается при длинах волн  $\lambda_1 = 0,5$  мкм и  $\lambda_2 = 0,7$  мкм. Показатели преломления масла –  $n_m = 1,3$ , стекла –  $n_{ст} = 1,5$ . Определить толщину пленки.

3. Определить угол между зеркалами Френеля, если расстояние между соседними полосами интерференции на экране  $\Delta x = 1$  мм (рис. 3.4). Расстояние от источника света до зеркал  $a = 10$  см, от зеркал до экрана  $b = 1$  м, длина волны света  $\lambda = 0,486$  мкм. Лучи падают на экран приблизительно перпендикулярно.

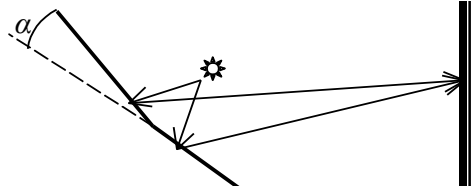


Рис. 3.4

4. Стекла́нная линза ( $n = 1,5$ ) лежит на пластине, изготовленной из тяжелого стекла (с примесью свинца) – флинт с показателем преломления  $n_{\text{ф}} = 1,7$ . Прослойка между линзой и пластинкой заполнено сероуглеродом  $n_{\text{с}} = 1,63$ . Радиус кривизны линзы  $R = 30$  см. Определить радиусы третьего, пятого, девятого колец Ньютона. Наблюдение проводится в отраженном свете.

5. Две параллельные щели шириной  $b = 0,2$  мм расположены на расстоянии  $d = 0,8$  мм друг от друга. Щели освещаются монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм. Определить положение первых десяти максимумов дифракции на экране, расположенном на расстоянии  $l = 1$  м от щелей.

6. Диафрагма с круглым отверстием расположена на расстоянии  $a = 3$  м от источника света. За диафрагмой на расстоянии  $b = 2$  м расположен экран. При таком положении на экране имеется четкое изображение источника света. На каком расстоянии от диафрагмы нужно расположить экран, если источник удален в бесконечность, чтобы получить такое же изображение?

7. Какова интенсивность света в фокусе зональной пластинки, если закрыты все зоны, за исключением верхней половины первой зоны? Интенсивность света без пластинки  $I_0$ .

8. Условие того, что дифракция Френеля практически совпадает с дифракцией Фраунгофера, заключается в малом отличии разности фаз  $\Delta\Phi$  двух лучей, идущих от разных точек отверстия к экрану  $\Delta\Phi \ll \pi$ . Выразить это условие через размеры отверстия  $d$ , длину волны  $\lambda$  и расстояние от отверстия до экрана  $r$ .

9. Две монохроматические длины волны света линейно-поляризованные во взаимно-перпендикулярных плоскостях распространяются в одном направлении:

$$E_x = A_1 \cos \omega t - kr ,$$

$$E_y = A_2 \cos \omega t - kr + \pi .$$

Определить поляризацию световой волны, образованной их сложением. Определить направление движения светового вектора  $A$  в результирующем свете.

10. Зависимость показателя преломления света от длины волны света выражается соотношением  $n = a + b / \lambda^2$   $a, b - \text{const}$  . Определить групповую скорость света как функцию длины волны света.

### Вариант 7

1. На зеркало падает нормально монохроматическая световая волна ( $\lambda = 0,5$  мкм). При отражении образуется стоячая волна. На каком расстоянии от зеркала будет находиться первый узел и первая пучность электрического вектора светового поля?

2. Почему центр колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете темный?

3. Найти радиус первого темного кольца Ньютона, если в промежутке между линзой и пластинкой налит бензол. Показатель преломления бензола такой же как у стекла  $n = 1,5$ . Наблюдение ведется в отраженном свете натриевой лампы  $\lambda = 0,589$  мкм .

4. В тонкой клиновидной пластине стекла при нормальном падении света с длиной волны  $\lambda = 0,58$  мкм при отражении наблюдаются полосы интерференции. Расстояние между соседними темными полосами  $\Delta x = 5$  мм, показатель преломления стекла  $n = 1,5$ . Определить угол между гранями пластинки.

5. Определить расстояние  $x_m$  от центра интерференционной картины до  $m$  светлой полосы в опыте с бипризмой Френеля, преломляющий угол которой  $\theta = 0,5^\circ$  . Длина волны света  $\lambda = 0,5$  мкм, показатель преломления призмы  $n = 1,5$ .

6. Точечный источник света с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм расположен на расстоянии  $a = 1$  м перед диафрагмой с круглым отверстием

диаметром  $d = 2,4$  мм (рис. 3.5). При каком расстоянии от диафрагмы до экрана  $b$  число зон Френеля в отверстии равно трем?

7. Определить угловое положение главного дифракционного максимума при наклонном падении лучей света на дифракционную решетку. Угол падения лучей  $\varphi$ , период решетки  $d$ .

8. Каково должно быть минимальное расстояние между двумя точками на поверхности Луны, чтобы их изображения в телескопе с диаметром объектива  $D = 60$  см воспринимались отдельно? Расстояние до Луны  $L = 3,88 \cdot 10^8$  м.

9. Оптическая система состоит из двух неидеальных поляризаторов, каждый из которых обеспечивает степень поляризации  $P = 0,8$ . Какова будет степень поляризации света, прошедшего последовательно через оба поляризатора, если оптические оси поляризаторов: а) параллельны, б) перпендикулярны друг другу?

10. Имеются две стеклянные пластины толщиной  $h_1$  и  $h_2$ . Коэффициенты прохождения света для первой пластины  $\sigma_1 = I_1 / I_0$ , для второй –  $\sigma_2 = I_2 / I_0$ . Каким образом можно определить коэффициент поглощения света  $k$  для данного сорта стекла?

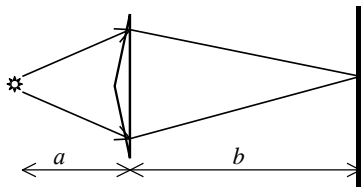


Рис. 3.5

### Вариант 8

1. Темной или светлой будет в отраженном свете мыльная пленка, находящаяся в воздухе, толщиной  $d = \lambda / 10$ ?

2. На пленку толщиной  $h = 0,367$  мкм под углом  $\alpha$  падает параллельный поток белого света. Показатель преломления пленки  $n = 1,4$ . В какой цвет будет окрашена в отраженном свете пленка, если: а)  $\alpha = 30^\circ$ , б)  $\alpha = 60^\circ$ ?

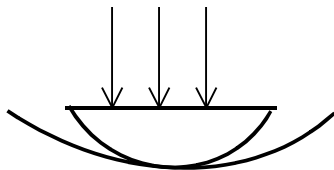


Рис. 3.6

3. Кольца Ньютона наблюдаются в отраженном свете с помощью плоско-выпуклой линзы радиуса  $R_1$ , положенной на вогнутую сферическую поверхность радиуса ( $R_2 > R_1$ ). Длина волны света  $\lambda$  (рис. 3.6). Определить радиус темного кольца  $r_m$ . Наблюдение ведется в отраженном свете.

4. Определить угол при вершине стеклянного клина ( $n = 1,49$ ), если при нормальном падении на него монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,52$  мкм наблюдается интерференция плотностью 8 полос на 1 см длины.

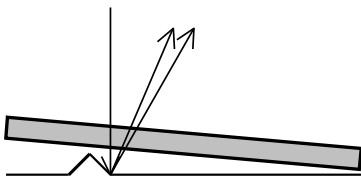


Рис. 3.7

5. Для проверки качества обработки поверхностей используется интерференционный метод: на поверхность кладется эталонная стеклянная пластинка, которая прижимается с одной стороны (рис. 3.7). Возникает воздушный клин. Длина волны света, используемая в методе  $\lambda = 0,54$  мкм. Определить минимальный размер шероховатостей,

оцениваемый этим методом.

6. Квадратное отверстие со стороной  $a = 0,2$  см освещается параллельным пучком белого света, падающим нормально к плоскости отверстия. Определить размер изображения отверстия на экране, удаленном на расстояние  $L = 50$  м от него. Границей освещенности считать положение первого минимума дифракции наиболее сильно отклоненных лучей в пределах видимой части спектра.

7. Чем определяется максимальная длина волны, которая может быть получена в спектре дифракционной решетки? Определить период решетки, способной давать инфракрасный спектр с длинами волн  $\lambda \leq 100$  мкм (при нормальном падении света на решетку).

8. На пути плоской световой волны  $\lambda = 0,5$  мкм установлена стеклянная пластина ( $n = 1,5$ ) с круглой выемкой (рис. 3.8). Площадь выемки для точки наблюдения соответствует полутора зонам Френеля. При какой наименьшей глубине выемки интенсивность света в точке  $M$  будет: а) минимальной, б) максимальной?

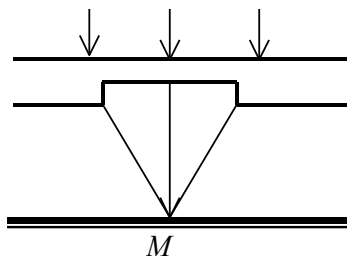


Рис. 3.8

9. Неидеальный поляризатор пропускает в своей плоскости  $\alpha_1 = 0,9$  интенсивности соответствующего колебания, а в перпендикулярной плоскости  $\alpha_2 = 0,1$  интенсивности тоже соответствующего

колебания. Определить степень поляризации света, прошедшего через поляризатор. Падающий на поляризатор свет естественный.

10. При прохождении в некоторой среде пути  $l$  интенсивность света  $I$  уменьшается в 2 раза. Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении в среде пути  $4l$ ?

### Вариант 9

1. Плоская световая волна длины  $\lambda_0$  (в вакууме) падает нормально на стеклянную пластинку с показателем преломления  $n$ . При каких толщинах пластинки  $h$  отраженная волна будет иметь: а) максимальную, б) минимальную интенсивность?

2. В опыте Ллойда источник света – щель, параллельная зеркалу, находится на расстоянии  $h = 1$  мм от плоскости зеркала. Экран расположен на расстоянии  $L = 4$  м от источника света (рис. 3.9). Длина волны света  $\lambda = 0,7$  мкм. Найти число полос интерференции на участке экрана длиной  $l = 4,2$  мм

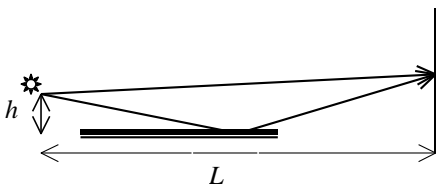


Рис. 3.9

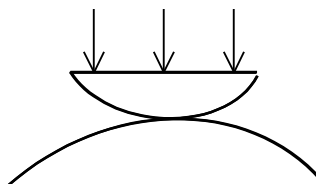


Рис.3.10

3. Кольца Ньютона наблюдаются в отраженном свете при помощи плоско-выпуклой линзы с радиусом кривизны  $R_1$ . Линза положена на выпуклую сферическую поверхность радиусом кривизны  $R_2$  (рис. 3.10). Длина волны света  $\lambda$ . Найти радиус темного кольца  $r_m$ .

4. Плоская световая волна падает нормально на прозрачную пленку с показателем преломления  $n_1 = 1,2$ . Пленка нанесена на поверхность стекла с показателем преломления  $n_2 > n_1$ . Определить минимальную толщину пленки, при которой отраженный свет будет иметь наименьшую интенсивность в части спектра, соответствующей наибольшей чувствительности глаза человека.

5. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания воды. При наблюдении в отраженном свете на

длине волны  $\lambda = 0,546$  мкм интерференционные полосы расположены с плотностью 5 полос на 1 см длины. Показатель преломления воды  $n = 1,33$ . Найти угол при вершине пленки.

6. Определить условие равенства нулю интенсивности  $m$ -го максимума для дифракционной решетки с периодом  $d$  и шириной щелей  $b$ .

7. Монохроматическая световая волна ( $\lambda = 0,6$  мкм) падает нормально на дифракционную решетку. Два соседних максимума дифракции расположены под углами  $\varphi_1 = 11^\circ 32'$  и  $\varphi_2 = 17^\circ 27'$ , причем максимум четвертого порядка отсутствует. Определить период решетки, наименьшую ширину щели в решетке, максимальный порядок спектра для этой длины волны.

8. Определить степень поляризации света, если при повороте поляризатора на угол  $\varphi = 60^\circ$  от положения, соответствующего максимальной интенсивности, интенсивность уменьшается в два раза.

9. Для каких длин волн видимой части спектра кристаллическая пластина толщиной  $h = 1$  мм, вырезанная параллельно оптической оси кристалла, служит пластинкой в четверть длины волны? Разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей света в кристалле  $n_o - n_e = 0,009$ .

10. На сколько процентов уменьшится интенсивность света при прохождении оконного стекла ( $n = 1,52$ ) толщины  $h = 4$  мм за счет отражения и поглощения света? Коэффициент поглощения света принять  $\kappa = 1,23$  1/м.

### Вариант 10

1. Доказать, что длина оптического пути светового луча при отражении и преломлении света является минимальной, если ее сравнивать с другими соседними путями, соединяющими начальную и конечную точки распространения света.

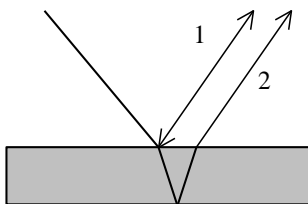


Рис. 3.11

2. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  падает под углом  $\alpha$  на стеклянную пластинку толщиной  $d$  (рис. 3.11). Показатель преломления стекла  $n$ . Записать выражение для оптической разности хода и разности фаз для отраженных лучей 1 и 2. Показатель преломления воздуха принять равным 1.



3. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм падает под углом  $\alpha = 30^\circ$  на клиновидную мыльную пленку ( $n = 1,33$ ). Интерференция наблюдается в отраженном свете. Расстояние между соседними полосами  $\Delta x = 4$  мм. Определить угол между поверхностями пленки.

4. Определить расстояние между пятнадцатым и четырнадцатым светлыми кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и третьим  $\Delta r_{23} = 1$  мм. Наблюдение ведется в отраженном свете.

5. В установке для наблюдения колец Ньютона плоско-выпуклая линза может перемещаться в направлении, перпендикулярном стеклянной пластинке. Что будет наблюдаться с кольцами интерференции при медленном удалении линзы от пластинки? Ответ обосновать.

6. Определить ширину спектральной линии водорода для длины волны  $\lambda = 0,656$  мкм в спектре первого порядка, даваемого решеткой шириной  $l = 3$  см. Фокусное расстояние линзы, проектирующей спектр,  $F = 15$  см. Период решетки  $d = 0,005$  мм. (Ширина спектральной линии – половина расстояния между соседними минимумами дифракции).

7. Экран, на котором наблюдается дифракционная картина от круглого отверстия, находится на расстоянии  $l = 1$  м. При этом в отверстии укладывается 5 зон Френеля. Насколько нужно передвинуть экран, чтобы в отверстии укладывалось три зоны?

8. Самый большой телескоп установлен на Кавказе (станция Зеленчукская). Диаметр зеркала телескопа  $D = 6$  м. Найти разрешаемое им угловое расстояние для длин волн, соответствующих средней части видимого спектра.

9. Зональная пластинка изготовлена из поляроида. Во всех четных зонах оптическая ось поляроида ориентирована вертикально, во всех нечетных зонах – горизонтально. Как изменится интенсивность света по сравнению с обычной зонной пластинкой?

10. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла (рис. 3.12). Направление оптической оси кристалла указано пунктиром, кристалл положительный. Построить в соответствии с принципом Гюйгенса направление распространения обыкновенного и необыкновенного лучей.

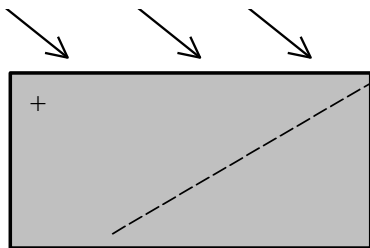


Рис. 3.12

## Вариант 11

1. Период вращения Солнца вокруг оси, наблюдаемый по солнечному экватору,  $T = 24,7$  суток. Радиус Солнца  $R_0 = 7 \cdot 10^8$  м. Определить смещение в длинах волн, вызванное эффектом Доплера, которое можно наблюдать для световых лучей, испускаемых с края солнечного диска. Произвести оценку смещения  $\Delta\lambda$  для длины волны  $\lambda = 0,55$  мкм.

2. Сферическая поверхность плоско-выпуклой линзы соприкасается со стеклянной пластинкой. Пространство между линзой и пластинкой заполнено жидкостью. Показатель преломления линзы  $n_1 = 1,5$ , жидкости  $n_2 = 1,6$ , пластины  $n_3 = 1,7$ . Радиус кривизны линзы  $R = 0,5$  м. Наблюдение ведется в отраженном свете на длине волны  $\lambda = 0,6$  м. Определить радиус пятого темного кольца Ньютона.

3. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм падает на тонкую пленку с показателем преломления  $n = 1,5$ . Угловое расстояние между соседними максимумами интерференции в отраженном свете, наблюдаемыми под углом  $\varphi = 45^\circ$ , равно  $\delta\varphi = 3^\circ$ . Определить толщину пленки.

4. Найти минимальную толщину пленки с показателем преломления  $n = 1,33$ , при которой свет с длиной волны  $\lambda_1 = 0,64$  мкм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны  $\lambda_2 = 0,4$  мкм не отражается совсем. Угол падения света на пленку  $\varphi = 30^\circ$ .

5. Расстояние от бипризмы Френеля до источника света  $a = 25$  см, до экрана  $b = 1$  м. Показатель преломления призмы  $n = 1,5$ , угол при вершине  $\theta = 20'$ . Ширина интерференционной полосы на экране  $\Delta x = 0,55$  мм. Определить длину волны света.

6. Плоская монохроматическая световая волна ( $\lambda = 0,5$  мкм) с интенсивностью  $I_0$  падает на круглое отверстие радиусом  $r = 1,2$  мм. Оценить интенсивность света в центре дифракционной картины на экране, расположенном на расстоянии  $l = 96$  см.

7. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм падает на щель ширины  $b = 10$  мкм под углом  $\theta = 30^\circ$ . Найти угловое положение первых минимумов дифракции.

8. Свет падает нормально на дифракционную решетку ширины  $l = 6,5$  см с периодом  $d = 0,005$  мм. Исследуемый спектр содержит спектральную линию  $\lambda = 670,8$  нм, которая состоит из двух компонент, отличающихся на  $\Delta\lambda = 0,015$  нм.

В каком порядке спектра будут разрешены компоненты этой спектральной линии? Какую наименьшую разность длин волн может разрешить эта решетка в области  $\lambda \approx 670$  нм?

9. При прохождении естественного света через один поляризатор проходит 30 % светового потока, через два таких поляризатора 13,5 % светового потока. Определить угол между оптическими осями поляризаторов.

10. Узкий пучок естественного света падает на призму Волластона, преломляющий угол которой  $\theta = 30^\circ$ , изготовленную из исландского шпата (рис. 3.13). Оптические оси обеих частей призмы взаимно-перпендикулярны. Определить угол  $\alpha$  между направлениями пучков обыкновенного и необыкновенного лучей, если показатели преломления  $n_o = 1,658$ ,  $n_e = 1,486$ .

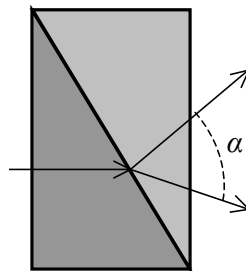


Рис. 3.13

## Вариант 12

1. Нормальный глаз человека способен различать оттенки в цвете при разности длин волн  $\Delta\lambda = 10$  нм. Исходя из этого оценить максимальную толщину воздушного слоя, при которой можно наблюдать в белом свете интерференцию при наложении лучей, отраженных от границ этого слоя.

2. Тупой угол бипризмы Френеля равен  $\theta = 179^\circ$ . Длина волны света,  $\lambda = 0,6$  мкм, расстояние от источника до призмы  $a = 8$  см, от призмы до экрана  $b = 50$  см. Определить расстояние между соседними интерференционными максимумами и численность полос интерференции.

3. Интерференция наблюдается при отражении света от тонкой клиновидной стеклянной пластинки ( $n = 1,5$ ). Расстояние между соседними полосами интерференции  $\Delta x = 5$  мм, длина волны света  $\lambda = 0,58$  мкм. Определить угол при вершине клина.

4. Плоско-выпуклая линза с показателем преломления  $n = 1,5$  лежит на стеклянной пластине (рис. 3.14). Прослойка между линзой и пластиной наполовину заполнена водой ( $n = 1,33$ ). Описать характер...

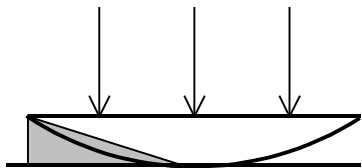


Рис. 3.14

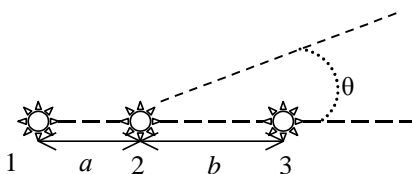


Рис.3.15

5. Зимой на стеклах трамваев и автобусов образуются тонкие пленки наледи, окрашивающие все видимые через них предметы в зеленоватый цвет. Оценить минимальную толщину пленки. Показатель преломления льда принять  $n = 1,33$ .

6. Три синфазных излучателя 1, 2, 3 расположены вдоль одной прямой (рис. 3.15). Расстояния  $a = \frac{\lambda}{2}$ ,  $b = \frac{3\lambda}{4}$ . Амплитуды излучателей  $A_1 = A_2$ . Какова должна быть амплитуда излучателя  $A_3$ , чтобы в диаграмме направленности излучения всей системы существовали минимумы нулевой интенсивности? Найти угловое направление на эти минимумы относительно оптической оси всей системы.

7. Интенсивность света в некоторой точке на оси за отверстием в непрозрачной плоскости, на которую падает монохроматический свет, равна  $I_1$ , если в отверстии укладывается одна зона Френеля. С помощью фазовой векторной диаграммы определить интенсивность света в той же точке, если открыто только  $1/3$  первой зоны Френеля.

8. Могут ли перекрываться спектры первого и второго порядков дифракционной решетки при освещении ее белым светом? Ответ обосновать.

9. Естественный свет проходит через систему двух последовательных неидеальных поляризаторов. Каждый из них пропускает в своей плоскости  $\alpha = 0,95$  интенсивности падающего света со степенью поляризации проходящего пучка  $P = 0,95$ . Какую долю первоначальной интенсивности света  $I_0$  составляет интенсивность света, прошедшего

через эту систему, если оптические оси поляризаторов взаимно-перпендикулярны?

10. Фазовая скорость света в некоторой среде изменяется по закону

$$v = a\omega^p \quad (p, a - \text{const}; \quad p \leq 1).$$

Определить групповую скорость света.

### Вариант 13.

1. Световая волна падает на границу раздела двух оптически прозрачных сред с диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_1, \epsilon_2$  (магнитные проницаемости  $\mu_1 = \mu_2 \approx 1$ ). Показать, что при отражении света от границы раздела фаза колебаний в отраженной волне изменяется на  $\pi$ , если отражение происходит от более плотной среды  $\epsilon_2 \geq \epsilon_1$ .

2. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана изменяется так, что пятая светлая полоса новой интерференционной картины оказалась на том же месте, что и третья в прежней. Как изменилось это расстояние?

3. Плоско-выпуклая линза положена на стеклянную поверхность, причем вследствие попадания пыли между линзой и пластинкой нет оптического контакта (рис. 3.16). Линза освещается монохроматическим светом  $\lambda = 0,589$  мкм. Диаметры двух соседних темных колец, наблюдаемых в отраженном свете,  $0,72$  мм и  $0,84$  мм. Определить радиус линзы.

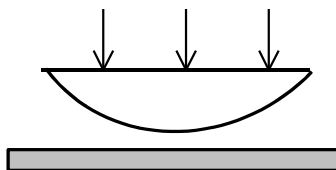


Рис. 3.16

4. Два пучка белого света, полученные от одного источника, сводятся на входной щели оптического спектрального прибора. Разность хода лучей  $\Delta r = 10$  м. Определить разрешающую силу прибора  $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$ , способного обнаружить интерференцию этих пучков.

5. Сколько интерференционных полос уложится на  $l = 2$  см поверхности стеклянного клина ( $n = 1,5$ ), если зеленый свет  $\lambda = 0,55$  мкм падает на клин нормально, а интерференция наблюдается в отраженном свете? Угол при вершине клина  $\alpha = 30^\circ$ .

6. Каков наибольший порядок спектра натриевой лампы ( $\lambda = 0,59$  мкм) можно наблюдать при помощи дифракционной решетки, имеющей 500 штрихов на миллиметр длины? Свет на решетку падает: а) нормально, б) под углом  $30^\circ$ .

7. На узкую щель шириной  $b = 0,05$  мм под углом  $\theta = 30^\circ$  падает монохроматический свет ( $\lambda = 0,5$  мкм). За щелью на расстоянии  $l = 1$  м находится экран. Определить ширину изображения щели на экране.

8. Определить минимальную ширину дифракционной решетки с периодом  $d = 2,5 \cdot 10^{-3}$  мм, чтобы она могла разрешить в спектре второго порядка дублет излучения ртути с длинами волн  $\lambda_1 = 577$  нм и  $\lambda_2 = 579,1$  нм. Свет падает на решетку нормально.

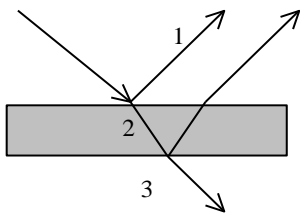


Рис. 3.17

9. Естественный свет падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку ( $n = 1,5$ ) под углом Брюстера (рис. 3.17). При таком угле падения интенсивность отраженного луча  $I_1 = 0,1I_0$ . Определить интенсивность лучей света 2 и 3 (поглощением света пренебречь).

10. При каком законе дисперсии диэлектрической среды  $\varepsilon = \varepsilon(\omega)$  связь между фазовой и групповой скоростью света имеет вид  $v_\phi \cdot v_{гр} = c^2$ ?

### Вариант 14

1. Направления распространения двух плоских когерентных волн с длиной волны  $\lambda$  составляют друг с другом малый угол  $\phi$ . Волны падают на экран, плоскость которого приблизительно перпендикулярна к направлению их распространения. Написать уравнения обеих волн, проинтегрировать их сложение и показать, что расстояние между соседними интерференционными полосами на экране  $\Delta x \cong \lambda / \phi$ .

2. Какова толщина мыльной пленки ( $n = 1,33$ ), если при наблюдении ее в отраженном свете она окрашена в зеленый цвет ( $\lambda = 0,55$  мкм)? Угол падения луча света  $\alpha = 35^\circ$ . В какой цвет будет окрашена пленка при нормальном падении света?

3. В опыте с кольцами Ньютона показатель преломления  $n_1$ , стеклянной пластинки  $n_2 \geq n_1$ . При этом, если в зазоре воздух, то точка соприкосновения в отраженном свете будет темным пятном. Если пространство между линзой и пластинкой заполнить жидкостью с показателем преломления  $n$  ( $n_1 < n < n_2$ ), то точка соприкосновения окружена светлым пятном. Объяснить это явление.

4. Свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм падает на вертикальную тонкую мыльную пленку ( $n = 1,33$ ) под углом  $\alpha = 30^\circ$ . В отраженном свете на пленке видны полосы интерференции. Расстояние между соседними полосами  $\Delta x = 4$  мм. Определить угол между поверхностями пленки.

5. Поверхность объектива с показателем преломления  $n = 1,5$  покрыта прозрачной пленкой с показателем преломления  $n_{\text{пл}} = \sqrt{n}$ . При какой минимальной толщине пленки свет с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм будет проходить в объектив без потерь на отражение?

6. Интенсивность света, создаваемая на экране некоторой монохроматической волной в отсутствие преград  $I_0$ . Определить интенсивность света в центре дифракционной картины от круглого отверстия, радиус которого соответствует:

а)  $1/3$  первой зоны Френеля; б) первой зоне; в)  $1,5$  зоны Френеля.

7. На дифракционную решетку, имеющую 50 штрихов на миллиметр длины, нормально падает белый свет. Какова разность углов отклонения конца первого и начала второго спектров? Шириной видимого спектра считать  $0,38 < \lambda < 0,75$  мкм.

8. Имеются три параллельные стеклянные пластинки. Показатели преломления первой пластинки  $n_1 = 1,2$ , третьей  $n_3 = 1,4$  (рис. 3.18). При каком значении показателя преломления  $n_2$  коэффициент отражения на поверхностях 1–2 и 2–3 одинаков? Будет ли коэффициент отражения на этих поверхностях одинаков при обратном распространении света?

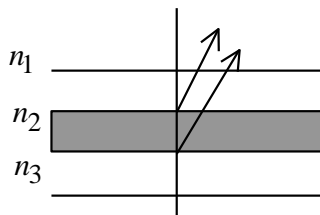


Рис. 3.18

9. Естественный свет падает на систему из трех последовательно расположенных поляроидов, причем оптическая ось второго составля-

ет угол  $\alpha = 60^\circ$  с оптическими осями первого и третьего поляроидов. Коэффициент отражения каждого поляроида  $\rho = 0,1$ . Во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении этой системы?

10. Зависимость показателя преломления от длины волны света  $n = a + b/\lambda^2$ , где  $a, b$ -const;  $\lambda$  – длина волны света. Определить величину фазовой и групповой скоростей света в среде.

### Вариант 15

1. Луч света выходит под тем же углом, под каким он входит в призму, причем отклоняется от первоначального направления на угол  $\varphi = 15^\circ$ . Угол при вершине призмы  $\theta = 45^\circ$  (рис. 3.19). Определить показатель преломления стекла призмы.

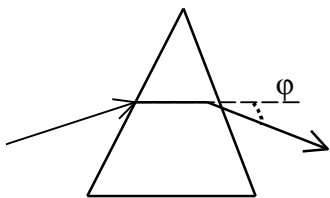


Рис. 3.19

казатель преломления стекла призмы.

2. Плоская монохроматическая волна проходит через стеклянную пластину с показателем преломления  $n$ . Толщина пластины испытывает скачкообразное изменение на величину  $d$  порядка длины волны света  $\lambda$ . Прошедшая световая волна собирается линзой в ее фокусе (рис. 3.20). При каких значениях  $d$  интенсивность света в фокусе будет вдвое меньше интенсивности света в том же фокусе в случае отсутствия уступа на пластине?

3. Найти радиус центрального темного пятна колец Ньютона, если между линзой и пластинкой налита вода ( $n = 1,33$ ). Радиус линзы  $R = 1$  м, наблюдение ведется в отраженном свете с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм.

4. Найти минимальную толщину пленки с показателем преломления  $n = 1,33$ , при которой свет с длиной волны  $\lambda_1 = 0,64$  мкм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны  $\lambda_2 = 0,4$  мкм не отражается совсем. Угол падения света  $\alpha = 30^\circ$ .

5. Схема интерферометра для определения показателя преломления газов приведена на рис. 3.21. Источник света – натриевая лампа ( $\lambda = 589$  нм); 1, 2 – две одинаковые трубки длиной  $L = 10$  см;  $D$  – диафрагма с двумя щелями. Когда воздух в трубке 2 заменяется ам-



миаком, интерференционная картина на экране смещается на 17 полос. Определить показатель преломления аммиака, если для воздуха  $n = 1,00029$ .

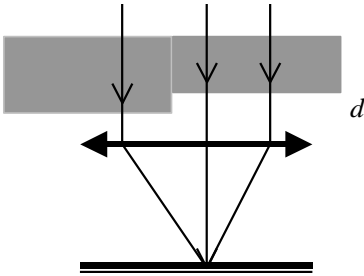


Рис. 3.20

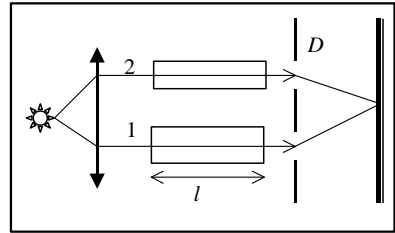


Рис. 3.21

6. Описать характер спектров дифракционной решетки, если период решетки равен: а)  $2a$ ; б)  $4a$  ( $a$  – ширина щелей).

7. Определить разрешающую силу дифракционной решетки с периодом  $d = 0,0025$  мм и шириной  $l = 3$  см в спектрах первого и четвертого порядков.

8. С орбиты искусственного спутника Земли на высоте  $h = 250$  км фотографируется земная поверхность. Разрешающая способность фотопленки 500 линий на миллиметр. Определить фокусное расстояние и диаметр объектива фотоаппарата, чтобы на фотопленке разрешались детали размером в 1 м.

9. Естественный свет падает на двоякопреломляющий кристалл. Длины волн обыкновенного и необыкновенного лучей  $\lambda_o > \lambda_e$ . Указать направление поляризации лучей 1 и 2 на рис. 3.22.

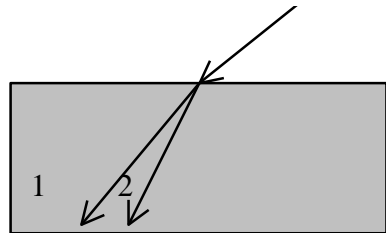


Рис. 3.22

10. Коэффициент поглощения света в прозрачной пластине изменяется линейно от  $\kappa_1 = 0,81/\text{м}$  у одной поверхности до  $\kappa_2 = 1,21/\text{м}$  у другой поверхности. При прохождении света через эту пластину его интенсивность уменьшилась на 20%. Определить толщину пластины.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	
I. Основные физические постоянные и формулы.....	
II. Примеры решения задач.....	
III. Индивидуальные контрольные задачи.....	
1. Колебания .....	
2. Волны .....	
3. Оптика .....	