

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра общей и технической физики**

# **ФИЗИКА**

## **ОПТИКА**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов бакалавриата направления 15.03.02*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

УДК 531/534 (073)

**ФИЗИКА. Оптика:** Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *А.Ю.Егорова*. СПб, 2019. 38 с.

Методические указания разработаны в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования, типовой рабочей программой дисциплины, рекомендованной УМО вузов.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Научный редактор проф. *А.С. Мустафаев*

Рецензент проф. *П.П. Серегин* (Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2019

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для студентов бакалавриата направлений 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Данное пособие может быть использовано студентами всех специальностей и направлений, изучающих дисциплину «Физика» в объеме трех или двух семестров.

## 1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

### 1.1. Электромагнитные волны

Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = \frac{c}{n},$$

где  $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$  – скорость распространения света в вакууме,

$n = \sqrt{\varepsilon \mu}$  – показатель преломления среды.

Связь между мгновенными значениями напряженностей электрического (E) и магнитного (H) полей электромагнитной волны

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

Волновое уравнение электромагнитной волны

$$\Delta \vec{E} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \quad \Delta \vec{H} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}, \quad \text{где } \Delta = \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) -$$

оператор Лапласа.

Уравнения плоской электромагнитной волны

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi), \quad \vec{H} = \vec{H}_0 \cos(\omega t - kx + \varphi),$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right), \quad \vec{E} = \vec{E}_0 \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right),$$

где  $E_0$  и  $H_0$  – соответственно амплитуды напряженности электрического и магнитного полей волны;  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$  –

круговая частота;  $k = \omega/v = \frac{2\pi}{\lambda}$  – волновое число;  $\varphi$  – начальная фаза

колебаний в точке с координатой  $x = 0$ ,  $T$  – период колебаний,  $\nu$  – частота,  $\lambda$  – длина волны,  $t$  – текущее время.

Объемная плотность энергии электромагнитного поля

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}.$$

Вектор плотности потока электромагнитной энергии – вектор Умова – Пойнтинга  $\vec{S} = [\vec{E} \cdot \vec{H}]$ .

## 1.2. Интерференция света

Фазовая скорость света в среде

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

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

Оптическая длина пути

$$L = ns,$$

где  $s$  – геометрическая длина пути световой волны в среде;  $n$  – показатель преломления этой среды.

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_2 - L_1,$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – соответственно оптические длины путей, пройденных волнами.

Временная когерентность некогерентных волн – когерентность колебаний, совершающихся в одной и той же точке пространства, но в разные моменты времени.

Время когерентности некогерентной волны

$$t_{\text{ког}} = \frac{\pi}{\Delta\omega} = \frac{\lambda^2}{c\Delta\lambda},$$

где  $\Delta\omega$  – ширина спектра циклических частот,  $\lambda$  – длина световой волны,  $\Delta\lambda$  – ширина спектра длин волн в источнике света.

Длина когерентности (длина гармонического цуга, соответствующего рассматриваемой некогерентной волне)

$$l_{\text{ког}} = ct_{\text{ког}} = \frac{\pi c}{\Delta\omega} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}.$$

Пространственная когерентность некогерентных волн – когерентность колебаний, совершающихся в один и тот же момент времени в различных точках плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Длина пространственной когерентности (радиус когерентности)

$$\rho_k = \frac{\lambda}{\varphi} = \frac{\lambda r}{D},$$

где  $\varphi = \frac{D}{r}$  – угловой размер источника света,  $D$  – линейный размер источника света,  $r$  – расстояние до источника,  $\lambda$  – длина волны источника света.

Размер пространственной когерентности  $S_k$  – площадь круга радиуса  $\rho_k$

$$S_k = \pi \frac{\lambda^2}{\varphi^2} = \pi \frac{\lambda^2 r^2}{D^2}.$$

Объем когерентности  $V_k$  – объем цилиндра с основанием  $S_k$  и образующей, равной длине гармонического цуга (длине временной когерентности)  $l_k$

$$V_k = S_k \cdot l_k = \frac{\pi \lambda^2}{\varphi^2} \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda} = \frac{\pi \lambda^2 r^2}{D^2} \frac{\pi c}{\Delta \omega} = \frac{\pi \lambda^4 r^2}{D^2 \Delta \lambda}.$$

Разность фаз двух когерентных волн

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta,$$

где  $\lambda_0$  — длина волны в вакууме;  $\Delta$  – оптическая разность хода двух световых волн.

Условие интерференционных максимумов

$$\Delta = \pm m \lambda_0,$$

где  $m = 0, 1, 2, \dots$ ;  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме.

Условие интерференционных минимумов

$$\Delta = \pm (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2},$$

где  $m = 0, 1, 2, \dots$ ;  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме.

Ширина интерференционной полосы

$$b = \frac{l}{d} \lambda_0,$$

где  $d$  – расстояние между двумя когерентными источниками, находящимися на расстоянии  $l$  от экрана ( $l \gg d$ ).

Условия максимумов и минимумов при интерференции света, отраженного от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пленки, находящейся в воздухе ( $n_0 = 1$ ),

$$2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0,$$

$$2dn \cos r \pm \frac{\lambda_0}{2} = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \pm \frac{\lambda_0}{2} = (2m + 1)\frac{\lambda_0}{2},$$

где  $d$  – толщина пленки;  $n$  – ее показатель преломления;  $i$  – угол падения;  $r$  – угол преломления;  $m = 0, 1, 2, \dots$ . Слагаемое  $\pm \frac{\lambda_0}{2}$  обусловлено возможной потерей полуволны при отражении света от границы с оптически более плотной средой.

Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете (или темных в проходящем свете)

$$r_m = \sqrt{(2m + 1)\frac{\lambda_0 R}{2n}},$$

где  $m = 0, 1, 2, 3, \dots$  – номер кольца;  $R$  – радиус кривизны линзы;  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме,  $n$  – показатель преломления среды между линзой и стеклянной пластинкой.

Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете (или светлых в проходящем свете)

$$r_m^* = \sqrt{\frac{m\lambda_0 R}{n}},$$

где  $m = 0, 1, 2, \dots$  – номер кольца;  $R$  – радиус кривизны линзы;  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме,  $n$  – показатель преломления среды между линзой и стеклянной пластинкой.

Для «просветленной оптики» интерферирующие лучи гасят друг друга в отраженном свете при условии

$$n = \sqrt{n_c}, \quad nd = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{4},$$

где  $n_c$  – показатель преломления стекла;  $n$  — показатель преломления пленки;  $nd$  – оптическая толщина пленки;  $m = 0, 1, 2, \dots$ ;  $\lambda_0$  – длина волны в вакууме.

### 1.3. Дифракция света

Радиус внешней границы  $m$ -й зоны Френеля для сферической волны

$$r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b} m \lambda},$$

где  $m$  – номер зоны Френеля;  $\lambda$  – длина волны;  $a$  и  $b$  – соответственно расстояния от диафрагмы с круглым отверстием до точечного источника и до экрана, на котором дифракционная картина наблюдается.

Для плоской волны

$$r_m = \sqrt{bm\lambda}.$$

Условия дифракционных максимумов от одной щели, на которую свет падает нормально:

$$a \cdot \sin \varphi = \pm(2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

и минимумов

$$a \cdot \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

где  $a$  – ширина щели;  $\varphi$  – угол дифракции;  $m$  – порядок спектра;  $\lambda$  – длина волны.

Постоянная (период) дифракционной решетки

$$d = a + b; \quad d = \frac{1}{N},$$

где  $a$  – ширина щели решетки;  $b$  – ширина непрозрачных участков между щелями;  $N$  – число щелей, приходящихся на единицу длины дифракционной решетки.

Условия главных максимумов и дополнительных минимумов дифракционной решетки, на которую свет падает нормально:

$$d \cdot \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

$$d \cdot \sin \varphi = \pm m' \frac{\lambda}{N} \quad (m' = 0, 1, 2, 3, \dots, \text{кроме } 0, N, 2N, \dots),$$

где  $d$  – период дифракционной решетки;  $N$  – число штрихов решетки.

Формула Вульфа-Брэггов (условие дифракционных максимумов от пространственной дифракционной решетки)

$$2d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $d$  – расстояние между атомными плоскостями кристалла;  $\theta$  – угол скольжения;  $\lambda$  – длина волны рентгеновского излучения.

Волновая природа света налагает предел на возможность различения деталей предмета или очень мелких предметов при их наблюдении с помощью микроскопа на разрешающую способность телескопа.

Разрешающая способность спектрального прибора

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

где  $\Delta \lambda$  – минимальная разность длин волн двух соседних спектральных линий, при которой эти линии регистрируются раздельно.

Разрешающая способность дифракционной решетки

$$R_{\text{диф. рел.}} = mN,$$

где  $m$  – порядок спектра;  $N$  – общее число штрихов решетки.

Разрешающая способность объектива (критерий Рэлея):

$$R = \frac{1}{\alpha} = \frac{D}{1,22\lambda},$$

где  $D$  – диаметр объектива;  $\alpha$  – минимальный угол между параллельными пучками света, разрешаемый объективом;  $\lambda$  – длина световой волны.

Разрешающая способность микроскопа, определяется как минимальное расстояние  $d$ , различимое с помощью микроскопа:

$$d \geq \frac{0,61\lambda}{n \sin \phi},$$

где  $\phi$  – половина угла между лучами, идущими от точки на поверхности рассматриваемого предмета к краям объектива;  $n$  – показатель преломления прозрачного вещества, заполняющего пространство между предметом и объективом.

#### 1.4. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом

Связь угла  $\varphi$  отклонения лучей призмой и преломляющего угла призмы  $\gamma$

$$\varphi = \gamma(n-1),$$

где  $n$  – показатель преломления.

Дисперсия света

$$D = \frac{dn}{d\lambda}.$$

Групповая скорость световой волны (Формула Рэлея)

$$u = \frac{d\omega}{dk} = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda} = \frac{c}{n} \left( 1 - \frac{\lambda}{n} \cdot \frac{dn}{d\lambda} \right) = \frac{c}{n + \omega \frac{dn}{d\omega}},$$

где  $n$  – показатель преломления среды,  $\lambda$  ( $\omega$ ) – длина (частота) световой волны.

Закон ослабления света в веществе (закон Бугера)

$$I = I_0 e^{-ax},$$

где  $I$  и  $I_0$  – интенсивности плоской монохроматической световой волны соответственно на входе выходе слоя поглощающего вещества толщиной  $x$ ,  $a$  – коэффициент поглощения.

## 1.5. Поляризация света

Степень поляризации света

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

где  $I_{\max}$ ,  $I_{\min}$  – соответственно максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где  $I$  – интенсивность плоско поляризованного света, прошедшего через анализатор и  $I_0$  – падающего на анализатор;  $\alpha$  – угол между плоскостями поляризатора и анализатора.

Закон Брюстера

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

где  $i_b$  – угол падения, при котором отраженный от диэлектрика луч является плоско поляризованным;  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$  – относительный показатель преломления среды.

Оптическая разность хода для кристаллической пластинки:

в четверть длины волны

$$(n_o - n_e)d = \pm (m + 1/4) \cdot \lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

в пол длины волны

$$(n_o - n_e)d = \pm (m + 1/2) \cdot \lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

в целую длину волны

$$(n_o - n_e)d = \pm m \lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \dots),$$

где  $\lambda$  – длина волны;  $d$  – толщина пластинки;  $n_o$  –  $n_e$  – соответственно показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в направлении, перпендикулярном оптической оси, знак плюс соответствует отрицательным одноосным кристаллам, минус – положительным.

Угол поворота плоскости поляризации:  
для оптически активных кристаллов и чистых жидкостей

$$\varphi = [\alpha]d,$$

для оптически активных растворов

$$\varphi = [\alpha] C d,$$

где  $d$  – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;  $[\alpha]$  – удельное вращение;  $C$  – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

## 2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Определить длину отрезка  $l_1$ , на котором укладывается столько же длин волн монохроматического света в вакууме, сколько их укладывается на отрезке  $l_2 = 5$  мм в стекле. Показатель преломления стекла  $n_2 = 1,5$ .

Дано:

СИ

Решение:

Количество длин волн в вакууме:

$n_1 = 1$ $n_2 = 1,5$ $l_2 = 5 \text{ мм}$ $k_1 = k_2$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$k_1 = \frac{l_1}{\lambda_0} n_1$
$l_1 - ?$		<p>Количество дли волн в стекле:</p> $k_2 = \frac{l_2}{\lambda_0} n_2$ <p>По условию:</p> $k_1 = k_2, n_1 = 1,$ $\frac{l_1}{\lambda_0} = \frac{l_2}{\lambda_0} n_2,$ <p>Откуда</p> $l_1 = l_2 \cdot n_2$ Подставим численные значения: $l_1 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$ <p><b>Ответ:</b> <math>l_1 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.</math></p>

2. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить угловое расстояние между соседними светлыми полосами, если третья светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на расстоянии 4,5 мм.

<b>Дано:</b>	<b>СИ</b>	<b>Решение:</b>
$l = 3 \text{ м}$ $m = 3$ $x = 4,5 \text{ мм}$	$4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	<p>Светлая полоса соответствует максимуму интерференции. Условие максимума:</p> $\Delta_{\max} = \pm m \lambda, \quad \Delta_{\max} = \frac{x d}{l},$
$\Delta \alpha - ?$		

	$m\lambda = \frac{xd}{l} \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$ $\alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{l} = \frac{m\lambda}{d},$ $\Delta\alpha = \frac{m\lambda}{d} - \frac{(m-1)\lambda}{d} = \frac{\lambda}{d} = \frac{x}{ml}$ <p><b>Ответ:</b> <math>\Delta\alpha = 5 \cdot 10^{-4} \text{ рад}.</math></p>
--	--

3. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластинку ( $n = 1,5$ ), то центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны  $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ . Определить толщину пластин.

Дано	СИ	Решение
$n = 1.5$ $m = 5$ $\lambda = 0.5 \text{ мкм}$	$= 0.5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$	$\Delta = n \cdot d - d = d(n - 1)$ $\Delta = m\lambda, \quad m\lambda = d(n - 1),$ $d = \frac{m\lambda}{n - 1}$
$d - ?$		<p><b>Ответ:</b> <math>d = 5 \text{ мкм}</math></p>

4. Для уменьшения потерь света из-за отражения от поверхности стекла осуществляют «просветление оптики»: на свободную поверхность линз наносят тонкую пленку с показателем преломле-

ния  $n = \sqrt{n_c}$ . В этом случае амплитуды отраженных лучей 1', 2' от обеих поверхностей такой пленки одинаковы. Определить толщину  $d$  слоя, при которой отражение для света с длиной волны  $\lambda$  от стекла в направлении нормали минимально.

Дано:	СИ	Решение:
$n = \sqrt{n_c}$	$4.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	<p>Светлая полоса соответствует максимуму интерференции. Условие максимума:</p>
$\frac{\lambda}{d - ?}$		$\Delta_{\max} = 2dn,$
		$\Delta_{\min} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2},$
		$2dn = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, 3 \dots),$
		$d = \frac{(2m + 1)\lambda}{4n} = \frac{(2m + 1)\lambda}{4\sqrt{n_c}}.$
		<p><b>Ответ:</b> <math>d = \frac{(2m + 1)\lambda}{4\sqrt{n_c}} \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots).</math></p>

5. Точечный источник света ( $\lambda = 0,5$  мкм) расположен на расстоянии  $a = 1$  м перед диафрагмой с круглым отверстием диаметра  $d = 2$  мм. Определить расстояние  $b$  от диафрагмы до точки наблюдения, если отверстие открывает три зоны Френеля.

**Дано**

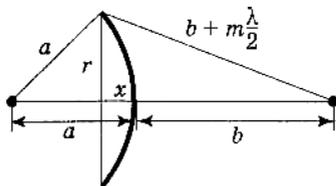
$$a = 1 \text{ м}$$

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$m = 3$$

$$d = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

**Решение**



$$r^2 = a^2 - (a - x)^2, \quad \lambda \ll a, \quad \lambda \ll b,$$

$$r^2 = \left(b + m \frac{\lambda}{2}\right)^2 - (b + x)^2,$$

так как высота зоны Френеля  $x = \frac{bm\lambda}{2(a+b)}$ ,

$$\text{то } r^2 = \frac{ab}{a+b} m\lambda - \frac{b^2}{4(a+b)^2} (m\lambda)^2.$$

Слагаемое  $\frac{b^2}{4(a+b)^2} (m\lambda)^2$  пренебрежимо мало,

$$r^2 = \frac{ab}{a+b} m\lambda,$$

$$b = \frac{ar^2}{am\lambda - r^2}, \quad r = \frac{d}{2}, \quad b = \frac{ad^2}{4am\lambda - d^2}$$

$b = ?$

**Ответ:**  $b = 2$  м

6. Дифракция наблюдается на расстоянии  $l$  от точечного источника монохроматического света ( $\lambda = 0,5$  мкм). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачный диск диаметром 5 мм. Определить расстояние  $l$ , если диск закрывает только центральную зону Френеля.

Дано	Решение
$d = 5 \cdot 10^{-3}$ м $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м $m = 1$ $a = b = l/2$	$a^2 = (a-x)^2 + r^2, \quad a^2 = a^2 + r^2 - 2ax + x^2,$ $r^2 + (b+x)^2 = \left(b + m \frac{\lambda}{2}\right)^2,$ $b + bm\lambda + \frac{(m\lambda)^2}{4} = r^2 + b^2 + x^2 + 2bx,$ $x^2 + \frac{(m\lambda)^2}{4}$ $x = \frac{r^2}{2a} = \frac{d^2}{4l}, \quad bm\lambda = 2bx + r^2,$ $bm\lambda = 2b \frac{r^2}{2a}, \quad bm\lambda = 2r^2 \frac{l}{2m\lambda} = \frac{d^2}{2},$ $l = \frac{d^2}{m\lambda}$
$l - ?$	<b>Ответ:</b> $l = 50$ м

7. На щель шириной,  $a = 0,1$  мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Дифракционная картина проецируется на экран, параллельный плоскости щели, с помощью линзы, расположенной вблизи щели. Определить расстояние от экрана до линзы, если расстояние  $l$  между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны центрального максимума, равно 1 см.

**Дано**

$$a = 10^{-4} \text{ м}$$

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$m = 1$$

$$l = 10^{-2} \text{ м}$$

**Решение**

$$a \cdot \sin \varphi = \pm 2m \frac{\lambda}{2}, \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

$$l = 2L \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad \frac{l}{2} \ll L, \quad \operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi,$$

$$\sin \varphi = \frac{l}{2L}, \quad a \frac{l}{2L} = m\lambda, \quad L = \frac{al}{2m\lambda}$$

$L = ?$

**Ответ:**  $L = 1 \text{ м}$

8. Дифракционная решетка длиной  $l = 5$  мм может разрешить в первом порядке две спектральные линии натрия ( $\lambda_1 = 589,0$  нм и  $\lambda_2 = 589,6$  нм). Определить, под каким углом в спектре третьего порядка будет наблюдаться свет с  $\lambda_3 = 600$  нм, падающий на решетку нормально.

**Дано**

**Решение**

$$\begin{aligned}
 l &= 5 \text{ мм} \\
 \lambda_1 &= 5,890 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\
 \lambda_2 &= 5,896 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\
 \lambda_3 &= 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\
 m &= 3
 \end{aligned}$$

$$d \cdot \sin \varphi = m_3 \lambda_3, \quad \sin \varphi = \frac{m_3 \lambda_3}{d}, \quad d = \frac{l}{N},$$

$$R = m_1 N = \frac{\lambda_1}{\Delta \lambda}, \quad \Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1,$$

$$N = \frac{\lambda_1}{m \Delta \lambda}, \quad d = \frac{m \Delta \lambda}{\lambda_1}, \quad \sin \varphi = \frac{m_3 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_1}{m_1 \cdot l \cdot \Delta \lambda},$$

$$\varphi = \arcsin \frac{m_3 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_1}{m_1 \cdot l \cdot \Delta \lambda}.$$

$\varphi - ?$

**Ответ:**  $\varphi = 20^\circ 42'$

9. Определить степень поляризации  $P$  света, который представляет собой смесь естественного света с плоско поляризованным, если интенсивность поляризованного света равна интенсивности естественного.

**Дано**

$$I_n = I_{\text{ест}}$$

**Решение**

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

$$I_{\text{max}} = I_n + \frac{1}{2} I_{\text{ест}} = I_n + \frac{1}{2} I_n = \frac{3}{2} I_n,$$

$$I_{\text{min}} = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} = \frac{1}{2} I_n,$$

$$P = \frac{\frac{3}{2} I_n - \frac{1}{2} I_n}{\frac{3}{2} I_n + \frac{1}{2} I_n} = \frac{I_n}{2 I_n} = 0,5$$

$P - ?$

**Ответ:**  $P = 0,5$

10. Предельный угол полного отражения для пучка света на границе кристалла каменной соли с воздухом равен  $40,5^\circ$ . Определить угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого кристалла.

Дано	Решение
$i_{np}=40,5^\circ$	$\frac{\sin i_{np}}{\sin(\pi/2)} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\sin i_{np}},$
	$\operatorname{tg} i_B = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\sin i_{np}},$
	$i_B = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{\sin i_{np}} \right)$
$i_B = ?$	<b>Ответ:</b> $i_B = 57^\circ$ .

11. Определить наименьшую толщину кристаллической пластинки в четверть длины волны для  $\lambda = 530 \text{ нм}$ , если для данной длины волны разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей  $n_o - n_e = 0,01$ .

Дано	Решение
$\lambda = 530 \text{ нм}$ $= 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ $n_o - n_e = 0,01$ $\Delta = \lambda/4$	$(n_o - n_e)d = \pm(2m + 1)\frac{\lambda}{4},$
	$(n_o - n_e)d_{\min} = \frac{\lambda}{4},$
	$d_{\min} = \frac{\lambda}{4(n_o - n_e)}$
$d_{\min} = ?$	<b>Ответ:</b> $d_{\min} = 13,3 \text{ мкм}$

12. Пластика кварца толщиной  $d = 2$  мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определенной длины волны на угол  $\varphi_1 = 30^\circ$ . Определить толщину  $d_2$  кварцевой пластинки, помещенной между параллельными николями, чтобы данный монохроматический свет гасился полностью.

Дано	Решение
$d_1 = 0,002$ м $\varphi_1 = 30^\circ$ $\varphi_2 = 90^\circ$	$\varphi_1 = \alpha d_1,$ $\varphi_2 = \alpha d_2,$ $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{d_1}{d_2}, d_2 = \frac{d_1 \varphi_2}{\varphi_1}$
$d_2 = ?$	<b>Ответ:</b> $d_2 = 6$ мм

### 3. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Мощные лазеры используются в экспериментах по термоядерному синтезу для сжатия газовой плазмы под действием сил давления излучения. При высокой концентрации электронов плазма практически полностью отражает падающее на нее излучение. Предположим, что излучение лазера, генерирующего импульс с пиковой мощностью  $P = 1,5 \cdot 10^3$  МВт, сфокусировано на площадке  $1 \text{ мм}^2$  плазменного слоя. Найдите давление, действующее на плазму.

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

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

4. На какой частоте суда передают сигнал бедствия SOS, если по международному соглашению длина радиоволны должна быть 600 м?

5. Радиосигнал, посланный на Луну, отразился и был принят на Земле через 2,5 с после посылки. Такой же сигнал, посланный на Венеру, был принят через 2,5 мин. Определить расстояние от Земли до Луны и от Земли до Венеры во время локации.

6. Радиолокатор обнаружил в море подводную лодку, отраженный сигнал от которой дошел до него за 36 мкс. Учитывая, что диэлектрическая проницаемость воды 81, определить расстояние от локатора до подводной лодки.

7. В вакууме вдоль оси  $X$  распространяется плоская электромагнитная волна и падает по нормали на поверхность тела, полностью ее поглощающего. Амплитуда напряженности магнитного поля волны равна 0,15 А/м. Определить давление, оказываемое волной на тело. Воспользуйтесь результатом теоремы Максвелла о том, что если тело полностью поглощает падающую на него энергию, то давление численно равно среднему значению объемной плотности энергии в падающей электромагнитной волне.

8. В опыте Юнга щели  $S_1$  и  $S_2$  освещались монохроматическим светом с длиной волны 600 нм, расстояние между щелями 2 мм, расстояние от них до экрана 3 м. Найти расстояние от 3-го и 4-го максимумов до центра экрана. Доказать, что расстояния между соседними максимумами постоянны. Экран параллелен линии  $S_1S_2$ .

9. Два когерентных источника света, полученных с помощью бипризмы Френеля, находятся на расстоянии  $d = 0,1$  мм друг от друга. На экране, параллельном отрезку  $d$ , наблюдается интерференционная картина, причем 5-ый максимум отстоит от центра экрана на 5 мм. Найти расстояние между экраном и линией,

соединяющей источники, если  $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м. Дать схему получения когерентных источников с помощью бипризмы Френеля и схему к выводу формулы, связывающей расстояние от источников до экрана, расстояние от центра экрана до "k"-го максимума.

**10.** Два луча приходят в точку наблюдения от двух когерентных источников с разностью хода  $\Delta = 6$  мкм. Максимум или минимум освещенности будет наблюдаться в данной точке? Какова разность фаз между колебаниями, пришедшими в точку наблюдения? Длина волны света  $6 \cdot 10^{-7}$  м. Вывести формулу, связывающую оптическую разность хода и разность фаз.

**11.** Кольца Ньютона образуются между плоским стеклом и линзой с радиусом кривизны 12,1 м. Монохроматический свет падает нормально. Диаметр второго светлого кольца в отраженном свете равен 6,6 мм. Найти длину волны падающего света. Вывести расчетную формулу.

**12.** На мыльную пленку с показателем преломления  $n=1,33$  падает белый свет. При какой наименьшей толщине пленки она будет окрашена в желтый цвет с длиной волны  $6 \cdot 10^{-5}$  см.

**13.** В шахтном интерферометре длина камер 110 мм. При заполнении камеры шахтным воздухом интерференционная картина сдвинулась на 11 полос. Найти показатель преломления шахтного воздуха, если показатель преломления чистого воздуха 1,000292, длина волны  $6 \cdot 10^{-7}$  м. Сделать чертеж.

**14.** Фронт волны желтого света ( $\lambda = 600$  нм) прошел в стекле за некоторое время путь, равный 10 мм. Каков его оптический путь и длина волны в стекле ( $n = 1,5$ )?

**15.** На пути одного из лучей интерферометра Жамена поместили трубку длиной 12 см, из которой выкачан воздух. При заполнении трубки хлором интерференционная картина сместилась на 154 полосы. Длина волны монохроматического света в этом опыте 600 нм. Найти показатель преломления хлора. Какой толщины кварцевую пластинку с показателем преломления  $n_{кв} = 1,54$  необходимо ввести на пути второго луча, чтобы разность хода лучей снова стала равной нулю?

**16.** В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения интерференционной картины на 500 полос потребовалось переместить одно из зеркал на расстояние 0,161 мм. Найти длину волны падающего света.

**17.** Параллельный пучок света от монохроматического источника ( $\lambda = 0,5$  мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром 1 мм. Темным или светлым будет центр дифракционной картины на экране, находящемся на расстоянии 0,5 м от диафрагмы?

**18.** Дифракция наблюдается на расстоянии  $l$  от точечного источника монохроматического света ( $\lambda = 0,5$  мкм). Посередине между источником света и экраном находится непрозрачный, круглый диск диаметром 5 мм. Определить расстояние  $l$ , если диск закрывает только центральную зону Френеля.

**19.** Щель шириной 0,5 мм освещается красным светом от лазера с  $\lambda = 630$  нм. На каком расстоянии от щели можно отчетливо наблюдать дифракционную картину?

**20.** Экран с круглым отверстием радиусом 1,5 мм расположен на расстоянии 8,6 м от точечного источника света, излучающего свет с длиной волны 0,6 мкм. На каком расстоянии от отверстия расположена точка наблюдения, если из нее видна одна первая зона Френеля? На какое расстояние надо переместить точку наблюдения, чтобы в ней образовалось темное пятно?

**21.** Параллельный пучок света падает нормально на круглую диафрагму радиусом 1,4 мм, расположенную на расстоянии 4 м от точки наблюдения. Что возникнет в точке наблюдения – максимум или минимум интенсивности? Длина световой волны 0,5 мкм. До какого радиуса надо расширить диафрагму, чтобы в точке наблюдения возник минимум интенсивности? Куда при этом исчезает энергия световой волны?

**22.** На щель шириной,  $a = 2$  мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света  $\lambda = 589$  нм. Под какими углами  $\varphi$  будут наблюдаться дифракционные минимумы света?

**23.** На щель шириной,  $a = 20$  мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света  $\lambda = 500$  нм. Найти ширину изображения щели на экране, удаленном от щели на расстояние  $l = 1$  м. (Шириной изображения щели на экране считать расстояние между двумя дифракционными минимумами первого порядка).

**24.** Указать порядки главных максимумов, которые не могут наблюдаться на дифракционной решетке с периодом  $d = 9,0$  мкм и шириной одной щели  $b = 3,0$  мкм.

**25.** Постоянная дифракционной решетки равна 5 мкм. Определите наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре четвертого порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,625 мкм. Расстояние между атомными плоскостями кристалла кальцита равно 0,3 нм. Определите, при какой длине волны рентгеновских лучей второй дифракционный максимум будет наблюдаться при отражении лучей под углом  $60^\circ$  к поверхности кристалла.

**26.** Оцените, на основе дифракционных соображений, может ли орел, летящий над землей на высоте 1 км, разглядеть мышонка размером в 2 см, если диаметр глаза орла составляет 10 мм.

**27.** Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Степень поляризации преломленного луча составляет 0,09. Найти коэффициент отражения.

**28.** В частично поляризованном свете амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в 3 раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности. Определить степень поляризации света.

**29.** На пути частично поляризованного света, степень поляризации которого равна 0,6, поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол  $\alpha = 30^\circ$ ?

**30.** Определите, во сколько раз уменьшится интенсивность света, прошедшего через два николя, главные плоскости которых образуют угол  $60^\circ$ , если каждый из николей как поглощает, так и отражает 5% падающего на них света.

**31.** Чему равен угол между главными оптическими осями поляризатора и анализатора, если анализатор в 6 раз уменьшает интенсивность света, проходящего к нему от поляризатора? Показать ход лучей в призме Николя. Поглощением света пренебречь.

**32.** Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности воды, были максимально поляризованы?

**33.** Пучок естественного света падает на стеклянную призму с углом  $\alpha=30^\circ$ . Определить показатель преломления стекла, если отраженный луч является плоско поляризованным.

**34.** Кристаллическая пластинка из исландского шпата с наименьшей толщиной  $d = 0,86$  мкм служит пластинкой в четверть волны для  $\lambda = 0,59$  мкм. Определите разность показателей преломления  $\Delta n$  обыкновенного и необыкновенного лучей.

**35.** Определите наименьшую толщину кристаллической пластинки в целую длину волны для  $\lambda = 530$  нм, если разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для данной длины волны  $n_e - n_o = 0,01$ .

#### **4. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

##### **Вариант 1**

1. Сколько длин волн монохроматического света с частотой колебаний  $\nu = 5 \cdot 10^{14}$  Гц уложится на пути длиной  $l = 1,2$  мм: 1) в вакууме, 2) в стекле ( $n = 1,5$ )?

2. В опыте Юнга расстояние между щелями равно 1 мм, а расстояние  $l$  от щелей до экрана равно 3 м. Определить: 1) положение первой светлой полосы; 2) положение третьей темной полосы, если щели освещать монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,5$  мкм.

3. Плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной  $d = 1,2$  мкм и показателем преломления  $n = 1,5$  помещена между двумя средами с показателем преломления  $n_1$  и  $n_2$ . Свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм падает нормально на пластинку. Определить оптическую разность хода  $\Delta$  волн 1 и 2, отраженных от верхней и нижней поверхностей пластинки, и указать, усиление или ослабление интенсивности света происходит при интерференции, если  $n_1 < n < n_2$ .

4. Найти радиус 4-й зоны Френеля, если расстояние от источника до зонной пластинки равно 10 м, а расстояние от пластинки до экрана равно 15 м. Длина волны падающего света 0,5 мкм.

5. На дифракционную решетку, содержащую  $n = 100$  мм<sup>-1</sup> штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум третьего порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на  $\Delta\varphi = 20^\circ$ . Определить длину волны света.

6. Определите степень поляризации  $P$  света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность поляризованного света в 5 раз больше интенсивности естественного.

7. Пластинку кварца толщиной  $d_1 = 2$  мм, вырезанную перпендикулярно оптической оси, поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации света повернулась на угол  $\varphi = 53^\circ$ . Определить толщину  $d_2$  пластинки, при которой данный монохроматический свет не проходит через анализатор.

## Вариант 2

1. Определить длину отрезка  $l_1$ , на котором укладывается столько же длин волн монохроматического света в вакууме, сколько их укладывается на отрезке  $l_1 = 5$  мм в стекле ( $n = 1,5$ )?

2. Если в опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей поместить перпендикулярно этому лучу тонкую стеклянную пластину ( $n = 1,5$ ), то центральная светлая полоса смещается в положение, первоначально занимаемое пятой светлой полосой. Длина волны  $\lambda = 0,5$  мкм. Определить толщину пластинки  $d$ .

3. Плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной  $d = 1,2$  мкм и показателем преломления  $n = 1,5$  помещена между двумя средами с показателем преломления  $n_1$  и  $n_2$ . Свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм падает нормально на пластинку. Определить оптическую разность хода  $\Delta$  волн 1 и 2, отраженных от верхней и нижней поверхностей пластинки, и указать, усиление или ослабление интенсивности света происходит при интерференции, если  $n_1 > n > n_2$ .

4. Определите радиус третьей зоны Френеля  $r_3$  для случая плоской волны. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения равно 1,5 м. Длина волны  $\lambda = 0,6$  мкм.

5. Дифракционная решетка освещена параллельным пучком белого света. Разность углов отклонения конца первого и начала второго спектра  $\Delta\varphi = 0^\circ 12'$  длины волны этих крайних лучей можно принять равными  $\lambda_k = 0,76$  мкм  $\lambda_\phi = 0,38$  мкм. Определить период  $d$  решетки.

6. Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол  $\alpha = 30^\circ$ , если в каждом из николей в отдельности теряется 10% интенсивности падающего на него света?

7. Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме  $\lambda = 0,53$  мкм, падает на пластинку из кварца перпендикулярно его оптической оси. Определить показатели преломления кварца для обыкновенного ( $n_o$ ) и необыкновенного луча ( $n_e$ ) лучей, если длины

волн этих лучей в кристалле соответственно равны  $\lambda_0 = 0,344$  мкм  
 $\lambda_e = 0,341$  мкм.

### Вариант 3

1. Какой длины  $l_1$  путь пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь длиной  $l_2 = 1$  м в воде, показатель преломления воды  $n_2 = 1,33$ ?

2. Расстояние  $d$  между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние  $l$  от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны  $\lambda$ , испускаемой источником монохроматического света, если ширина  $\Delta x$  полос интерференции на экране равна 1,5 мм.

3. Плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной  $d = 1,2$  мкм и показателем преломления  $n = 1,5$  помещена между двумя средами с показателем преломления  $n_1$  и  $n_2$ . Свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм падает нормально на пластинку. Определить оптическую разность хода  $\Delta$  волн 1 и 2, отраженных от верхней и нижней поверхностей пластинки, и указать, усиление или ослабление интенсивности света происходит при интерференции, если  $n_1 < n > n_2$ .

4. На зонную пластинку падает плоская монохроматическая волна  $\lambda = 0,5$  мкм. Определите радиус первой зоны Френеля  $r$ , если расстояние от зонной пластинки до места наблюдения 1 м.

5. Дифракционная решетка освещена нормально падающим светом. В дифракционной решетке максимум второго порядка отклонен на угол  $\varphi = 14^\circ$ . На какой угол отклонен максимум третьего порядка?

6. Определите, во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света, прошедшего через два николя, главные плоскости которых образуют угол в  $60^\circ$ , если каждый из николей как поглощает, так и отражает 5% падающего на них света.

7. Определить наименьшую толщину кристаллической пластинки в четверть волны для  $\lambda = 0,53$  мкм, если разность показате-

лей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для данной длины волны  $n_e - n_o = 0,01$ .

#### Вариант 4

1. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку ( $n = 1,5$ ) толщиной 1 мм. На сколько изменится оптическая длина пути  $\Delta L$ , если волна падает под углом  $30^\circ$ ?

2. Расстояние  $d$  между двумя когерентными источниками света ( $\lambda = 0,5$  мкм) равно 0,1 мм. Расстояние  $\Delta x$  между интерференционными полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определите расстояние от источника до экрана.

3. Плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной  $d = 1,2$  мкм и показателем преломления  $n = 1,5$  помещена между двумя средами с показателем преломления  $n_1$  и  $n_2$ . Свет с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм падает нормально на пластинку. Определить оптическую разность хода  $\Delta$  волн 1 и 2, отраженных от верхней и нижней поверхностей пластинки, и указать, усиление или ослабление интенсивности света происходит при интерференции, если  $n_1 > n > n_2$ .

4. Свет от монохроматического источника ( $\lambda = 0,6$  мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием. Диаметр отверстия 6 мм. За диафрагмой на расстоянии 3 м от нее находится экран. Определить: 1) сколько зон Френеля укладывается в отверстии диафрагмы; 2) каким будет центр дифракционной картины на экране.

5. Дифракционная решетка содержит  $n = 100$  мм<sup>-1</sup> штрихов на 1 мм. На решетку падает нормально монохроматический свет ( $\lambda = 0,6$  мкм). Максимум  $m_{max}$  какого наибольшего порядка дает решетка? Найти общее число  $N_{max}$  дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. Определить угол  $\varphi_{max}$  дифракции, соответствующий последнему максимуму.

6. Анализатор в 2 раза уменьшает интенсивность света, проходящего к нему поляризатора. Определить угол  $\alpha$  между плоско-

стями пропускания поляризатора и анализатора. Потерями интенсивности пренебречь.

7. Определить наименьшую толщину кристаллической пластинки в полволны для  $\lambda = 0,53$  мкм, если разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для данной длины волны  $n_e - n_o = 0,01$ .

### Вариант 5

1. Два параллельных пучка световых волн падают на стеклянную призму с преломляющим углом  $30^\circ$  и после преломления выходят из нее. Найти оптическую разность хода  $\Delta$  световых волн после преломления их призмой.

2. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга 0,5 мм, длина падающего на них света 0,6 мкм. Определить расстояние  $l$  от щели до экрана, если ширина  $\Delta x$  интерференционных полос равна 1,2 мм.

3. На мыльную пленку ( $n = 1,3$ ), находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки отраженный свет с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции?

4. Сферическая волна, распространяющаяся из точечного монохроматического источника света ( $\lambda = 0,6$  мкм), встречает на своем пути экран с круглым отверстием радиусом 0,4 мм. Расстояние от источника до экрана равно 1 м. Определите расстояние от отверстия до точки экрана, лежащей на линии, соединяющей источник с центром отверстия, где наблюдается максимум освещенности.

5. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков отчасти перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ( $\lambda = 0,4$  мкм) спектра третьего порядка?

6. Найти угол полной поляризации для света, отраженного от стекла с показателем преломления  $n = 1,5$ . Найти степень поляризации преломленного света, если на стекло падает естественный свет.

7. Определить наименьшую толщину кристаллической пластинки «в целую волну» для  $\lambda = 0,53$  мкм, если разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для данной длины волны  $n_e - n_o = 0,01$ .

### Вариант 6

1. Определить, какую длину  $l_1$  пути пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь длиной  $l_2 = 1$  м в стекле, показатель преломления стекла  $n_2 = 1,5$ ?

2. В опыте Юнга расстояние от щелей до экрана равно 3 м. Определить угловое расстояние между соседними светлыми полосами, если третья светлая полоса на экране отстоит от центра интерференционной картины на расстоянии 4,5 мм.

3. Пучок монохроматических ( $\lambda = 0,6$  мкм) световых волн падает под углом  $30^\circ$  на находящуюся в воздухе мыльную пленку ( $n_2 = 1,3$ ). При какой наименьшей толщине пленки отраженные световые волны будут максимально ослаблены интерференцией?

4. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света, длина волны которого укладывается на ширине щели 6 раз. Под каким углом  $\varphi$  будет наблюдаться третий дифракционный минимум света?

5. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на 1 мм, падает в направлении нормали к ее поверхности белый свет. Спектр проецируется линзой, помещенной вблизи решетки на экран. Определить ширину спектра первого порядка на экране, если расстояние линзы до экрана равно 3 м. Границы видимости спектра  $\lambda_{кр} = 0,78$  мкм  $\lambda_{\phi} = 0,40$  мкм.

6. На николю падает пучок частично поляризованного света. При некотором положении николя интенсивность света, прошедшего через него, стала минимальной. Когда плоскость пропускания ни-

коля повернули на угол  $45^\circ$ , интенсивность света возросла в 1,5 раза. Определить степень поляризации света.

7. Определите толщину кварцевой пластинки, для которой угол поворота плоскости поляризации монохроматического света определенной длины волны  $180^\circ$ . Удельное вращение в кварце для данной длины волны  $\alpha = 0,52$  рад/мм.

### Вариант 7

1. Оптическая разность хода  $\Delta$  двух интерферирующих волн монохроматического света равна  $0,3\lambda$ . Определить разность фаз.

2. Расстояние между двумя когерентными источниками равно 0,9 мм. Источники, испускающие монохроматический свет ( $\lambda = 0,64$  мкм), расположены на расстоянии 3,5 м от экрана. Определить число светлых полос, которые наблюдаются на 1 см длины.

3. Пучок монохроматических ( $\lambda = 0,6$  мкм) световых волн падает под углом  $30^\circ$  на находящуюся в воздухе мыльную пленку ( $n_2 = 1,3$ ). При какой наименьшей толщине пленки отраженные световые волны будут максимально усилены интерференцией?

4. На щель шириной 0,05 мм падает нормально монохроматический свет ( $\lambda = 0,6$  мкм). Определить угол отклонения лучей, соответствующих второй светлой дифракционной полосе.

5. На дифракционную решетку под углом  $\theta$  падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$ . Найдите условие, определяющее направления на главные максимумы, если  $d \gg m\lambda$  ( $m$  – порядок спектра).

6. На пути частично поляризованного света, степень поляризации которого равна 0,6 поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол  $30^\circ$ ?

7. Жидкий никотин, содержащийся в стеклянной трубке длиной  $l = 0,08$  м, поворачивает плоскость поляризации желтого света натрия на угол  $\varphi = 137^\circ$ . Плотность жидкого никотина

$\rho = 1,01 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Определить удельное вращение жидкого никотина.

### Вариант 8

1. Определить, какую длину  $l_1$  пути пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь длиной  $l_2 = 1 \text{ см}$  в алмазе, показатель преломления алмаза  $n_2 = 2,42$  ?

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

3. На стеклянную пластинку нанесен слой прозрачного вещества с показателем преломления 1,3. На пластинку падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 0,64 мкм. Какую минимальную толщину должен иметь слой, чтобы отраженные лучи были максимально ослаблены в результате интерференции?

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

5. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает параллельный пучок монохроматического света ( $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ ). Помещенная вблизи решетки линза проектирует дифракционную картину на экран, находящийся в фокальной плоскости линзы и удаленный от нее на расстояние 1 м. Расстояние между двумя максимумами первого порядка на экране 20,2 см. Определите постоянную решетки, число штрихов на 1 мм, общее число максимумов, которое дает решетка, угол  $\varphi_{max}$ , под которым виден последний максимум.

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

7. Раствор сахара с концентрацией, равной  $200 \text{ кг/м}^3$ , налитый в стеклянную трубку, поворачивает плоскость поляризации света, проходящего через раствор, на угол  $45^\circ$ . Другой раствор, налитый в такую же трубку, поворачивает плоскость поляризации на угол  $30^\circ$ . Определить концентрацию этого раствора.

### Вариант 9

1. Оптическая разность хода  $\Delta$  двух интерферирующих волн монохроматического света равна  $0,2\lambda$ . Определить разность фаз.

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

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

4. Диафрагма с круглым отверстием диаметром  $2,4 \text{ мм}$  расположена на расстоянии  $1 \text{ м}$  от точечного источника света и  $1,5 \text{ м}$  от экрана. Длина волны источника света  $0,6 \text{ мкм}$ . Определить: 1) сколько зон Френеля укладывается в отверстии диафрагмы; 2) каким будет центр дифракционной картины на экране.

5. Дифракционная решетка имеет такой период, что максимум первого порядка для длины волны  $0,7 \text{ мкм}$  соответствует углу  $30^\circ$ . Какова длина волны света, который в спектре второго порядка имеет максимум под углом  $45^\circ$ ?

6. При прохождении естественного света через два николя, угол между плоскостями поляризации которых  $45^\circ$ , происходит ослабление света. Коэффициенты поглощения света в поляризаторе и

анализаторе соответственно равны 0,08 и 0,1. Найти, во сколько раз изменилась интенсивность света после прохождения этой системы.

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

## Вариант 10

1. Два параллельных пучка световых волн падают на стеклянную призму с преломляющим углом  $20^\circ$  и после преломления выходят из нее. Найти оптическую разность хода  $\Delta$  световых волн после преломления их призмой.

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

3. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны 0,59 мкм. Свет падает по нормали к поверхности пластины. Между линзой и пластинкой находится жидкость с показателем преломления 1,33. Определить толщину зазора в том месте, где в отраженном свете наблюдается третье светлое кольцо.

4. Перед щелью 28,5 мкм, освещенной монохроматическим пучком света, помещена собирающая линза. На экране, отстоящем на 10 см от линзы, наблюдаются полосы дифракции. Среднее расстояние между расположенными симметрично полосами равно 0,23 см. Определить длину падающей световой волны.

5. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Красная линия  $\lambda = 0,63$  мкм видна в спектре третьего порядка под углом  $60^\circ$ . Какая спектральная линия видна под этим же углом в спектре четвертого порядка? Какое число штрихов на 1 мм имеет решетка?

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

7. Луч света, проходя слой льда ( $n_1 = 1,31$ ), падает на алмазную пластинку ( $n_2 = 2,42$ ), частично отражается, частично преломляется. Определить, каким должен быть угол падения  $i_0$ , чтобы отраженный луч был максимально поляризован.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Книга 4 Волны. Оптика. СПб.: Лань, 2011, 256 с.
2. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Книга 2. Электричество и магнетизм. СПб.: Лань, 2011, 352 с.
3. *Трофимова Т.И.* Курс физики. М.: Академия, 2006, 560 с.
4. *Детлаф А.А.* Курс физики. Учеб. пособие/ Детлаф А.А., Яворский Б.М. М.: Высшая школа, 2009, 384 с.
5. *Яворский Б.М.* Основы физики. т. 1,2. Яворский Б.М., Пинский А.А. М.: Наука, 2009, 209 с.
6. *Ландсберг Г.С.* «Элементарный курс физики», книга 3 «Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика». М., Физматлит, 2001, 656 с.
7. *Иродов И.Е.* Сборник задач. СПб.: Издательство Лань, 2010.
8. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике. СПб.: Издательство Лань, 2009.
9. *Савельев И.В.* Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб.: Издательство Лань, 2007.
10. *Рогачев Н.М.* Решение задач по курсу общей физики. СПб., М.: Издательство «Лань», 2008.
11. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. СПб.: Издательство Лань, 2009.

12. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями. М.: Высшая школа, 2009.

13. Чертов А. Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. М.: Физматлит, 2009.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Основные законы и формулы.....	3
2. Примеры решения задач.....	12
3. Задачи для самостоятельного решения.....	21
4. Варианты контрольной работы.....	26
Библиографический список.....	37

# **ФИЗИКА**

## **ОПТИКА**

*Методические указания к самостоятельной работе  
для студентов бакалавриата направления 15.03.02*

Сост. *А.Ю. Егорова*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
общей и технической физики

Ответственный за выпуск *А.Ю. Егорова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 10.01.2019. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 2,2. Усл.кр.-отт. 2,2. Уч.-изд.л. 1,9. Тираж 75 экз. Заказ 4. С 1.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2