



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное
автономное образовательное учреждение
высшего образования
"Южный федеральный университет"
Инженерно-технологическая академия
Институт нанотехнологий, электроники
и приборостроения**

**А.Б. Колпачев, Г.В. Арзуманян,
А.М. Гаврилов, И.Б. Доценко, О.В. Колпачева**

**Сборник вопросов, задач и упражнений
по курсу физики
Волновая оптика**

КАФЕДРА ФИЗИКИ

Учебно-методическое пособие

Ростов-на-Дону – Таганрог
2017

УДК 535(075.8)

ББК 22.343я73

К615

Рецензент

зав. кафедрой теоретической, общей физики и технологии Таганрогского института им. А. П. Чехова (филиала) Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), кандидат технических наук, доцент *С. Н. Кихтенко*.

Колпачев, А.Б.

К615 Сборник вопросов, задач и упражнений по курсу физики. Волновая оптика: учебно-методическое пособие/ А.Б. Колпачев, Г.В. Арзуманян, А.М. Гаврилов, И.Б. Доценко, О.В. Колпачева; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 82 с.

Учебно-методическое пособие содержит задачи, вопросы и упражнения для проведения практических занятий по курсу физики, раздел «Волновая оптика».

Пособие предназначено для студентов ЮФУ, обучающихся по направлениям «Приборостроение», «Электронная техника, радиотехника и связь», «Электроника и нанoeлектроника», «Информационная безопасность».

УДК 535(075.8)

ББК 22.343я73

© Южный федеральный университет, 2017

© Колпачёв А. Б., Арзуманян Г.В., Гаврилов А.М., Доценко И.Б., Колпачева О. В., 2017

1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. Волновое уравнение для вектора напряженности электрического \vec{E} :

$$\Delta \vec{E} = \mu \mu_0 \varepsilon \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2},$$

где ε и μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости среды; в которой распространяется волна; ε_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные.

2. Уравнение плоской волны, распространяющейся в положительном направлении оси OX для вектора напряженности электрического поля:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - (\vec{k}\vec{r}) + \alpha),$$

где E_0 – амплитуда колебаний напряженности электрического поля; ω – циклическая частота; k – волновой вектор; α – начальная фаза плоской волны.

3. Фазовая скорость распространения электромагнитных волн в среде

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

где ε и μ – соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости среды; c – скорость распространения света в вакууме

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \approx 2,997924562 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

ε_0 и μ_0 соответственно электрическая и магнитная постоянные.

4. Длина электромагнитной волны

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi v}{\omega},$$

где k – волновое число, v – фазовая скорость волны в данной среде, ν – частота электромагнитной волны.

5. Связь между мгновенными значениями величин напряженностей электрического (E) и магнитного (H) полей электромагнитной волны, распространяющейся в однородной и изотропной среде с диэлектрической проницаемостью ε и магнитной проницаемостью μ :

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

6. Объемная плотность энергии электромагнитного поля

$$w_{em} = \frac{1}{v} EH.$$

7. Плотность потока энергии электромагнитного поля, вектор Умова – Пойнтинга

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}].$$

8. Интенсивность электромагнитной волны:

$$\langle I \rangle = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} E_m^2 \sim E_m^2.$$

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Что такое электромагнитная волна?
2. Из каких фундаментальных уравнений следует возможность существования электромагнитных волн?
3. Пользуясь непосредственно уравнениями Максвелла для электромагнитного поля, докажите, что эти уравнения допускают решения в виде электромагнитных волн.
4. Каким соотношением связаны мгновенные значения напряженности электрического и магнитного полей в плоской электромагнитной волне?

5. Запишите формулу для разности фаз колебаний напряженности электрического поля в плоской электромагнитной волне, происходящих в двух различных точках пространства. От каких свойств среды, в которой распространяется волна, зависит эта разность фаз?

6. Каков физический смысл показателя преломления?

7. Запишите формулу, определяющую величину фазовой скорости плоской электромагнитной волны, распространяющейся в однородной и изотропной диэлектрической среде.

8. Пользуясь уравнениями Максвелла для электромагнитного поля, докажите, что электромагнитные волны являются поперечными, а существование продольных электромагнитных волн невозможно.

9. Что такое вектор Умова – Пойнтинга? Каков его физический смысл?

10. Как связана энергия электромагнитной волны с модулем вектора Умова – Пойнтинга?

11. Что называют интенсивностью излучения электромагнитной волны?

12. Почему в случае световых волн наблюдаемой физической величиной следует считать среднее, а не мгновенное значение освещенности?

13. Каким соотношением связаны среднее и мгновенное значения интенсивности излучения (освещенности)? Выведите формулу для средней освещенности. Какими приближениями вы пользовались при получении этого результата?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Сколько длин волн монохроматического света с частотой колебаний $\nu = 6,17 \cdot 10^{14}$ Гц уложится на пути длиной

$L = 2,0$ мм: а) в вакууме, б) в стекле с показателем преломления $n_c = 1,4891$. Ответ округлить и представить кратным 10^3 .

Решение. Длина электромагнитной волны в вакууме равна

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Число длин волн, которые уложатся на пути L :

$$N = \frac{L}{\lambda} = 4000.$$

Длина электромагнитной волны в стекле равна

$$\lambda_c = \frac{\nu}{\nu}.$$

Скорость электромагнитной волны в стекле равна:

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

$$\lambda_c = \frac{c}{n \cdot \nu},$$

$$N_c = \frac{L}{\lambda_c} = \frac{Ln \cdot \nu}{c} = 6000.$$

Ответ: $N_B = 4 \cdot 10^3$, $N_c = 6 \cdot 10^3$.

Пример 2. Электромагнитная волна распространяется в однородной и изотропной среде с $\varepsilon = 2$ и $\mu = 1$. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_0 = 12$ В/м. Определить: 1) фазовую скорость волны; 2) амплитуду напряженности магнитного поля волны.

Решение. Фазовая скорость электромагнитных волн в прозрачной диэлектрической среде

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

где c – скорость распространения света в вакууме,

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Вычисляем

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = 2,2 \cdot 10^8 \text{ (м/с).}$$

В бегущей электромагнитной волне мгновенные значения $E(t)$ и $H(t)$ в любой точке определяются соотношением

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

Тогда для амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей волны получим

$$\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E_0 = \sqrt{\mu \mu_0} H_0.$$

Отсюда амплитуда напряженности магнитного поля волны равна

$$H_0 = \frac{\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E_0}{\sqrt{\mu \mu_0}} = 45 \cdot 10^{-3} \text{ (А/м).}$$

Ответ: $H_0 = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ А/м}$, $v = 2,2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Пример 3. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме. Определить амплитуду напряженности электрического поля волны E_0 , если интенсивность волны составляет $I = 21,2 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/м}^2$.

Решение. Интенсивность электромагнитной волны I определяется как средняя энергия, проходящая в единицу времени через единицу площади поверхности $I = S$ (S – модуль вектора Умова – Пойнтинга, или модуль плотности потока энергии электромагнитного поля). Известно, что вектор Умова – Пойнтинга равен

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}],$$

где \vec{E} и \vec{H} — мгновенные значения векторов напряженностей электрического и магнитного полей. Величины напряженностей полей в плоской электромагнитной волне равны:

$$E = E_0 \cos(\omega t - kx + \alpha),$$

$$H = H_0 \cos(\omega t - kx + \alpha),$$

где ω — циклическая (круговая) частота колебаний волны, k — волновое число, E_0 и H_0 — амплитудные значения напряженностей электрического и магнитного полей. Примем начальную фазу колебаний α равной нулю.

Мгновенное значение модуля вектора Умова — Пойнтинга равно

$$S = E_0 H_0 \cos^2(\omega t - kx).$$

При усреднении за время наблюдения, многократно превышающее период колебаний в электромагнитной волне, среднее значение квадрата косинуса

$$\langle \cos^2(\omega t - kx) \rangle = \frac{1}{2}.$$

Следовательно, среднее значение модуля вектора Умова — Пойнтинга

$$\langle S \rangle = \frac{1}{2} E_0 H_0.$$

Амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей волны связаны соотношением

$$\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E_0 = \sqrt{\mu \mu_0} H_0.$$

$$H_0 = \frac{\sqrt{\epsilon \epsilon_0} E_0}{\sqrt{\mu \mu_0}}.$$

Подставляя выражение для H_0 в формулу для среднего значения вектора Умова – Пойнинга, получаем

$$\langle S \rangle = \frac{1}{2} E_0 \frac{\sqrt{\epsilon\epsilon_0} E_0}{\sqrt{\mu\mu_0}} = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\epsilon\epsilon_0} E_0^2}{\sqrt{\mu\mu_0}}.$$

Интенсивность электромагнитной волны $I = \langle S \rangle$, поэтому величина амплитуды напряженности электрического поля волны

$$E_0 = \sqrt{2I \sqrt{\mu\mu_0 \epsilon\epsilon_0}} = 126 \text{ (мВ/м)}.$$

Ответ: $E_0 = 126 \text{ мВ/м}$.

ЗАДАЧИ

1. На рис. 1 показаны направления векторов напряженностей электрического и магнитного полей плоской электромагнитной волны в некоторый момент времени. В каком направлении распространяется волна?

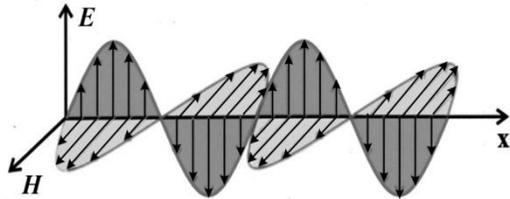


Рис. 1. Плоская электромагнитная волна

Ответ: волна распространяется в положительном направлении оси Ox .

2. Сколько времени понадобится световому излучению, чтобы дойти от Солнца до Земли, если расстояние между ними $1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

Ответ: 500 с.

3. Определить величину радиуса земного шара, если свет проходит расстояние, равное длине экватора Земли, за 0,139 с.

Ответ: 6640 км.

4. Скорость распространения электромагнитных волн в некоторой среде составляет $v = 250$ Мм/с. Определить длину волны электромагнитных волн в этой среде, если их частота в вакууме $\nu = 1$ МГц.

Ответ: 250 м.

5. Человек воспринимает излучение как свет с частотой от $4 \cdot 10^{14}$ Гц до $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить интервал длин волн электромагнитного излучения в вакууме, вызывающего у людей световое ощущение.

Ответ: $400 \div 750$ нм.

6. Длина волны желтого цвета в вакууме равна $0,589$ мкм. Какова частота колебаний в этом луче?

Ответ: $5,1 \cdot 10^{14}$ Гц.,

7. Может ли произойти изменение длины волны от $0,4$ до $0,6$ мкм при переходе светового излучения из среды в вакуум? Каким должен быть абсолютный показатель преломления этой среды?

Ответ: 1,5.

8. Насколько изменится длина волны фиолетовых лучей с частотой $\nu = 7,5 \cdot 10^{14}$ Гц при переходе из воды в вакуум, если скорость их распространения в воде $2,23 \cdot 10^8$ м/с.

Ответ: 103 нм.

9. Скорость распространения электромагнитных волн в некоторой среде составляет 223380 км/с. Определить показатель преломления среды.

Ответ: $n = 1,343$

10. При распространении в какой среде излучение с частотой $\nu = 6,91 \cdot 10^{14}$ Гц будет иметь длину электромагнитных волн $\lambda = 434$ нм. Определить показатель преломления среды.

Ответ: 1,0.

11. Определить фазовую скорость волны, если частота излучения $\nu = 5 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$, а зарегистрированное приемником излучение имело длину $\lambda = 400 \text{ нм}$

Ответ: $2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

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

Ответ: $14,1 \text{ нПа}$.

13. В вакууме вдоль оси OX распространяется плоская электромагнитная волна и падает по нормали на поверхность тела, полностью ее поглощающего. Амплитуда напряженности электрического поля волны равна 2 В/м . Определить давление, оказываемое волной на тело. Воспользоваться результатом теории Максвелла о том, что если тело полностью поглощает падающую на него энергию, то давление излучения равно среднему значению объемной плотности энергии в падающей электромагнитной волне.

Ответ: $8,85 \text{ пПа}$.

14. Плоская монохроматическая электромагнитная волна распространяется вдоль оси x . Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_0 = 5 \text{ мВ/м}$, амплитуда напряженности магнитного поля волны $H_0 = 1 \text{ мА/м}$. Определить энергию, перенесенную волной за время $\tau = 10 \text{ мин}$ через площадку, расположенную перпендикулярно оси x , площадью поверхности $S = 15 \text{ см}^2$. Период колебаний волны $T \ll \tau$.

Ответ: $W = 2,25$ мкДж.

15. Плоская монохроматическая электромагнитная волна распространяется вдоль оси x . Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_0 = 9$ мВ/м, амплитуда напряженности магнитного поля волны $H_0 = 2$ мА/м. Определить энергию, перенесенную волной за время $\tau = 1$ мин через площадку, расположенную перпендикулярно оси x , площадью поверхности $S = 10$ см². Период колебаний волны $T \ll \tau$.

Ответ: $W = 0,54$ мкДж.

16. В вакууме вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны составляет 50 мВ/м. Определить интенсивность излучения, т. е. среднюю энергию, проходящую через единицу поверхности в единицу времени.

Ответ: 33,1 мкВт/м².

17. В вакууме вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля составляет 5 мА/м. Определить интенсивность волны, т. е. среднюю энергию, проходящую через единицу поверхности в единицу времени.

Ответ: 4,71 мВт/м².

2. ПРЕЛОМЛЕНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. При переходе через границу раздела либо при отражении от неё частота электромагнитных волн не изменяется.

2. При отражении от оптически менее плотной среды фаза отражённой волны не меняется. При отражении от оптически более плотной среды фаза отражённой волны изменяется на π .

3. Закон отражения света: отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим и перпендикуляром, проведенным к

границе раздела двух сред в точке падения, а угол отражения γ равен углу падения α (рис.2).

4. Абсолютный показатель преломления равен отношению фазовой скорости электромагнитных волн в вакууме c к фазовой скорости скорости v электромагнитных волн в среде

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

5. Закон преломления света: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред в точке падения, лежат в одной плоскости (рис.2). Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Здесь n_1 , n_2 – абсолютные показатели преломления соответствующих сред.

6. Относительный показатель преломления равен отношению их абсолютных показателей преломления:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

7. Явление полного внутреннего отражения наблюдается при падении света из оптически более плотной среды с показателем преломления n_1 на границу раздела с оптически менее плотной

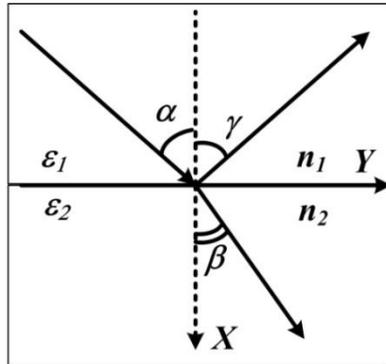


Рис.2. Направления падающего, отраженного и преломленного лучей при падении на границу раздела двух сред

средой с показателем преломления n_2 , $n_2 < n_1$. Предельный угол при полном внутреннем отражении определяется формулой

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

8. Относительная интенсивность отражённой волны при нормальном падении на границу раздела двух сред с показателями преломления n_1 и n_2

$$\frac{I_1}{I_0} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2.$$

9. Относительная интенсивность прошедшей волны при нормальном падении на границу раздела двух сред с показателями преломления n_1 и n_2

$$\frac{I_2}{I_0} = \frac{4n_1n_2}{(n_1 + n_2)^2}.$$

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

| Коэффициент преломления, n | |
|------------------------------|------|
| Стекло | 1.5 |
| Вода | 1.33 |
| Алмаз | 2.4 |
| Этиловый спирт | 1,36 |
| Органическое стекло | 1.53 |

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Как изменяется частота электромагнитной волны при переходе через границу раздела, либо при отражении от границы раздела?

2. Как изменяется фазовая скорость электромагнитной волны при переходе через границу раздела двух сред?

3. Как изменяется длина электромагнитной волны при переходе через границу раздела двух сред?

5. Что такое абсолютный показатель преломления? В чем состоит его физический смысл?

6. Что такое относительный показатель преломления? В чем состоит его физический смысл?

7. Что называется оптической длиной луча?

8. Как изменяется направление распространения волны при отражении от границы раздела? Сформулируйте закон отражения света.

9. Как изменяется направление распространения волны при прохождении через границу раздела? Сформулируйте закон преломления света.

10. В чем состоит явление полного внутреннего отражения? При каком соотношении величин показателей преломления двух сред это явление возможно?

11. Как вычислить угол полного внутреннего отражения?

12. Постройте ход лучей, падающих на плоскопараллельную пластинку под углом, не равным 90° при различных соотношениях между показателем преломления материала пластинки и среды, из которой падает свет.

13. Постройте ход лучей в треугольной призме.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Луч света падает на стеклянную пластинку с показателем преломления $n = 1,7$ под углом, для которого $\sin\alpha = 0,8$. Вышедший из пластинки луч оказался смещенным относительно падающего на расстояние $b = 2$ см. Какова толщина h пластинки (рис. 3)?

Решение. На рис. 3 ход луча через пластинку показан сплошной линией, без пластинки – пунктиром:

$$x = h \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

$$x + b = h \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Смещение луча в результате прохождения пластины

$$b = h \cdot \operatorname{tg} \alpha - h \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

Отсюда

$$h = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta}.$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}.$$

Угол преломления β найдём из закона Снеллиуса:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n.$$

Отсюда

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n},$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{\sin \alpha}{n \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}.$$

Толщина пластины

$$h = \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta} = \frac{b}{\frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}} = 0,0025 \text{ (м)}.$$

Ответ: $h = 0,0025 \text{ м}$.

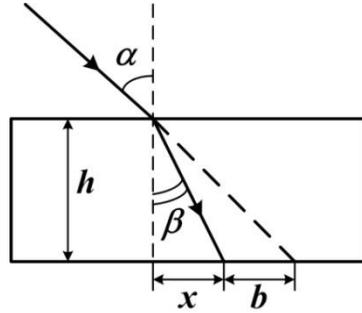


Рис. 3. Ход лучей в плоской пластине

Пример 2. На пути светового луча, идущего в воздухе, поставлена плоскопараллельная пластинка из стекла (показатель преломления $n = 1,5$) толщиной $d = 4$ мм. Как изменится в результате прохождения через пластинку оптическая длина луча, если луч падает на пластинку 1) нормально, 2) под углом 45° ?

Решение. Оптическая длина луча L равна произведению геометрической длины луча ℓ на показатель преломления среды, в которой свет распространяется. При нормальном падении луча на пластинку оптическая длина луча $L_1 = n\ell$. В этом случае увеличение оптической длины луча составит $\Delta L = n\ell - \ell = (n - 1)d$, так как геометрическая длина луча в этом случае равна толщине пластинки. Подставляя численные значения, получим $\Delta L = 2$ мм.

Ход луча при падении на пластинку под углом 45° показан на рис. 4. Если бы пластинки не было, луч распространялся бы по прямой AM . При наличии пластинки свет распространяется по траектории $ACDN$. После прохождения точек B и D лучи идут

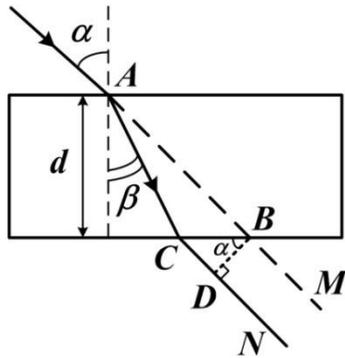


Рис. 4. Ход лучей в плоскопараллельной пластине одинаковы. Различие между оптическими длинами лучей возникает при прохождении участков AB и ACD . Разность оптических длин луча, прошедшего через пластинку и луча распространявшегося в воздухе равна

$$\Delta L = L_{ACD} - L_{AB} = n|AC| + |CD| - |AB|.$$

Найдем длины отрезков AC , CD и AB . Длина отрезка AB (рис. 4)

$$|AC| = \frac{d}{\cos \beta},$$

где β – угол преломления. Найдем $\cos \beta$, используя закон преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n, \quad \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}, \quad \cos \beta = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n}.$$

Теперь

$$|AC| = \frac{nd}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}.$$

Длина отрезка CD (рис. 4):

$$|CD| = |CB| \cos \alpha = d(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta) \cos \alpha.$$

С учетом закона преломления,

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}};$$

$$|CD| = d \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{\sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) \cos \alpha = d \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right).$$

Длина отрезка AB :

$$|AB| = \frac{d}{\cos \alpha}.$$

Подставим выражения для длин отрезков в формулу для разности оптических длин лучей:

$$\Delta L = \frac{n^2 d}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} + d \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right) - \frac{d}{\cos \alpha}.$$

Подставив численные значения и выполнив вычисления, получим $\Delta L = 2,5$ мм.

Пример 3. Каким должен быть радиус внешнего изгиба световода R (рис. 5), изготовленного из вещества с показателем преломления $n = 1,5$, чтобы при диаметре световода $d = 5$ мм,

свет, вошедший в световод перпендикулярно плоскости его поперечного сечения, распространялся, не выходя из световода?

Решение. Для того чтобы луч не выходил из световода, он должен испытывать полное внутреннее отражение. Наибольший угол падения показан на рис. 6. Этот угол должен быть равен предельному углу полного внутреннего отражения α_0 .

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n}.$$

Из геометрических соображений (рис. 6)

$$\sin \alpha_0 = \frac{r}{R} = \frac{R-d}{R},$$

Для предельного угла полного внутреннего отражения справедливо соотношение

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}.$$

Из двух последних формул получаем

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

Отсюда $R = nR - nd$,

$$R = \frac{n}{n-1} d = \frac{1,5}{1,5-1} \cdot 5 = 15 \text{ (мм)}.$$

Ответ: $R = 15 \text{ мм}$.

Пример 4. Чему равна кажущаяся глубина водоёма, если смотреть перпендикулярно поверхности воды? По результатам

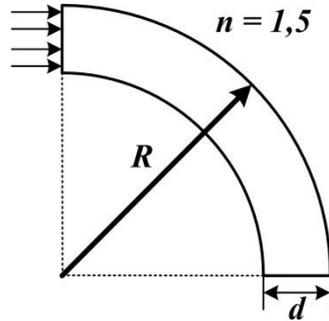


Рис. 5. Изгиб световода

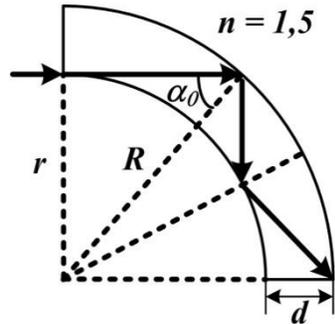


Рис. 6. Ход лучей в световоде

измерения шестом глубина составляет 1 м. Показатель преломления воды $n = 1,33$.

Решение. Если мы смотрим двумя глазами, то лучи из одной точки на дне идут, как это показано на рис. 7. Они не перпендикулярны поверхности воды и поэтому преломляются.

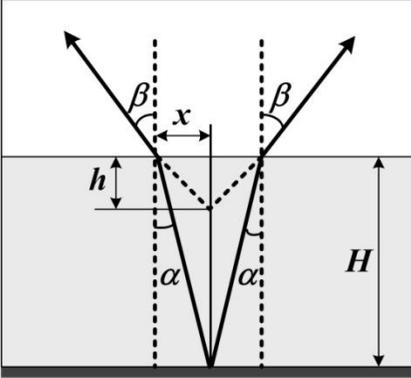


Рис.7. Ход лучей от источника света на дне

Кажущаяся глубина h есть расстояние от поверхности до точки пересечения продолжений лучей.

Как следует из рис. 7, кажущаяся глубина

$$h = \frac{x}{\operatorname{tg} \beta},$$

истинная глубина

$$H = \frac{x}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Следовательно,

$$\frac{H}{h} = \frac{x}{\operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta}{x} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Углы α и β малы, поэтому

$$\frac{H}{h} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}.$$

Согласно закону Снеллиуса

$$\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{n_2}{n_1} = n.$$

Отсюда $h = \frac{H}{n} = \frac{1}{1,33} \approx 0,75$ (м).

Ответ: $h \approx 0,75$ (м).

Пример 5. На поверхности озера, имеющего глубину $H = 2$ м, плавает круглый плот радиуса $r = 8$ м. Найти радиус полной тени от пловца на дне озера при освещении рассеянным светом. Показатель преломления воды $n = 1,33$.

Решение. Плоскость освещается рассеянным светом. Это значит, что углы падения лучей на поверхность воды могут быть любыми. На самый большой угол при преломлении будет отклоняться луч, падающий под углом, близким к $\pi/2$. Для этого луча угол преломления равен предельному углу полного внутреннего отражения:

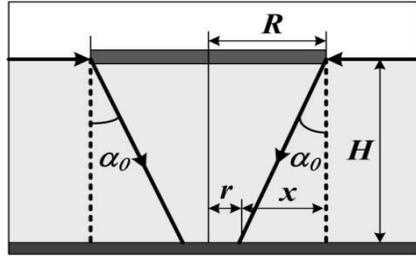


Рис. 8. Ход лучей, падающих на поверхность воды

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n}.$$

Как видно из рис. 8, радиус тени $r = R - x$, где

$$x = H \operatorname{tg} \alpha_0, \quad r = R - H \operatorname{tg} \alpha_0,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha_0}{\cos \alpha_0} = \frac{\sin \alpha_0}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0}} = \frac{1}{n \sqrt{\frac{n^2 - 1}{n^2}}} = \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}},$$

$$r = R - H \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 = R - \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}},$$

$$r = R - \frac{H}{\sqrt{n^2 - 1}} \approx 5,7 \text{ (м)}.$$

Ответ: $r \approx 5,7 \text{ (м)}$

Пример 6. Как изменится интенсивность света, проходящего через окно с двумя стёклами? Считать, что свет падает перпендикулярно стеклу. Показатель преломления стекла $n_2 = 1,5$; показатель преломления воздуха $n_1 = 1,0$.

Решение. Интенсивность света изменяется при прохождении границы раздела между двумя средами. При прохождении одного стекла свет преодолевает две границы раздела – при переходе из воздуха в стекло, а затем при переходе из стекла в воздух. Таким образом, если в окне два стекла, свет преодолевает четыре границы раздела.

Относительная интенсивность волны, отражённой от границы раздела стекла и воздуха

$$\frac{I_1}{I_0} = \left(\frac{E_{10}}{E_{00}} \right)^2 = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = \left(\frac{1,0 - 1,5}{1,0 + 1,5} \right)^2 = 0,04,$$

$$I_1 = 0,04I_0.$$

Найдем относительную интенсивность I_2 волны, прошедшей в стекло из воздуха:

$$I_1 + I_2 = I_0,$$

$$I_2 = I_0 - 0,04I_0 = 0,96I_0.$$

При выходе волны из стекла в воздух снова отражается четыре процента от интенсивности волны, падающей на границу стекло-воздух. Следовательно, после прохождения первого стекла интенсивность прошедшей волны равна

$$I_3 = 0,96I_2 = 0,96^2 I_0 = 0,9216I_0.$$

Коэффициент прохождения света через одно оконное стекло равен 0,9216. После прохождения через второе стекло интенсивность света составит

$$I_4 = 0,9216I_3 \approx 0,85I_0.$$

Ответ: $I_4 \approx 0,85I_0$.

ЗАДАЧИ

18. На плоское зеркало падает световой луч под углом 20° . Как изменится угол между падающим и отраженным лучами, если луч будет падать на зеркало под углом 35° ?

Ответ: Увеличится на 30° .

19. Плоское зеркало поворачивают вокруг оси, проходящей через точку падения луча перпендикулярно к плоскости, в которой лежат падающий и отраженный лучи. На какой угол повернули зеркало, если отраженный от него луч повернулся на 42° ? На сколько градусов изменится при этом угол между падающим и отраженным лучами?

Ответ: 21° , 42° .

20. На поверхность стекла падает световое излучение, интенсивность которого $25 \text{ Дж/м}^3\cdot\text{с}$. Определить интенсивность светового излучения, проникающего в стекло, если коэффициент отражения $0,18$.

Ответ: $20,5 \text{ Дж/м}^3\cdot\text{с}$.

21. При освещении стеклянной пластинки внутрь стекла проникло световое излучение, интенсивность которого $18 \text{ Дж/м}^3\cdot\text{с}$, а отразилось от стекла излучение с интенсивностью $2 \text{ Дж/м}^3\cdot\text{с}$. Определить коэффициент отражения света от стекла при этих условиях.

Ответ: $0,1$.

22. Скорость распространения света в первой прозрачной среде $2,25 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, а во второй $2,0 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Луч света падает на поверхность раздела двух сред под углом 30° и переходит во вторую среду. Определить угол преломления луча.

Ответ: 26° .

23. Луч света падает на поверхность раздела двух сред под углом 35° и переходит во вторую среду под углом 25° .

Определить угол преломления луча, если луч будет падать под углом 50° .

Ответ: 34° .

24. Определить угол падения луча в воздухе на поверхность воды, если угол между отраженным и преломленным лучами составляет 90° .

Ответ: 53° .

25. Определить угол преломления луча при переходе из воздуха в этиловый спирт, если угол между отраженным и преломленным лучами составляет 120° . Показатель преломления этилового спирта $n = 1,36$.

Ответ: 25° .

26. Вычислить предельные углы полного внутреннего отражения для воды, органического стекла, алмаза.

Ответ: 49° ; 41° ; 26° .

27. Определить предельный угол полного внутреннего отражения при переходе лучей из алмаза в органическое стекло.

Ответ: 40° .

28. Человек посмотрел на дно водоема в вертикальном направлении сверху вниз и определил его кажущуюся глубину 90 см. Чему равна действительная глубина водоема?

Ответ: 40° .

29. На высоте 5 см над поверхностью воды расположен точечный источник. Где будет находиться изображение этого источника, даваемое плоским зеркальным дном сосуда, если смотреть по вертикали вниз. Глубина сосуда с водой 4 см, показатель преломления $n = 1,33$.

Ответ: 16 см.

30. Луч белого света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом 60° . Крайний красный и фиолетовый лучи светового пучка, находящегося на противоположной грани пластинки, отстоят друг от друга на

расстояние 0,3 мм. Определить толщину пластинки, если показатель преломления стекла для крайних красных лучей 1,51, а для крайних фиолетовых 1,53.

Ответ: 23 мм.

31. Пучок параллельных лучей падает на поверхность воды под углом 30° . Ширина пучка в воздухе 5 см. Найти ширину пучка в воде.

Ответ: 5,35 см.

32. На стеклянную пластинку толщиной 5 см с показателем преломления 1,5 падает монохроматический параллельный пучок лучей. Угол падения пучка на пластину равен углу полного внутреннего отражения для стекла, из которого изготовлена пластина. Вычислить смещение луча в результате прохождения через пластинку.

Ответ: 0,01 м.

33. Пучок параллельных лучей ширины 20 см проходит через стеклянную пластинку под углом 60° к ее плоской грани. Найти ширину пучка после перехода его в воздух через эту грань. Показатель преломления стекла $n = 1,8$.

Ответ: 10,1 см.

34. Найти угол отклонения узкого светового луча от его первоначального направления при переходе из стекла в воздух, если угол падения 30° . Показатель преломления стекла $n = 1,5$. Найти скорость света в этом стекле.

Ответ: $18^\circ 40'$.

35. Найти угол отклонения узкого светового луча от его первоначального направления при переходе из воды в воздух, если угол падения 30° . Показатель преломления воды $n = 1,33$. Найти скорость света в воде.

Ответ: 35° ; $2,26 \cdot 10^8$ м/с.

36. На какой глубине под водой находится водолаз, если он видит отраженными от поверхности воды те части горизонтального дна, которые расположены от него на

расстоянии 15 м и больше. Рост водолаза 1,7 м. Показатель преломления воды $n = 1,33$.

Ответ: 7,4 м.

37. На половину шара радиусом $R = 2,5$ см, изготовленного из стекла с показателем преломления $n = \sqrt{2}$, падает перпендикулярно плоской поверхности параллельный пучок лучей. Определите радиус светового пятна на экране, расположенном на расстоянии $L = 10$ см от центра шара.

Ответ: 7,2 см.

38. Монохроматический свет падает на вертикальную грань призмы, у которой поперечное сечение – прямоугольный треугольник. Показатель преломления материала призмы $n = 1,6$. Преломляющий угол призмы 30° . Найти угол отклонения луча, вышедшего из призмы, от его первоначального направления, если луч падает перпендикулярно грани.

Ответ: 36° .

3. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Формула Фарадея. При отражении естественного света от диэлектрического зеркала интенсивность отраженных волн, световые колебания которых ориентированы перпендикулярно (I_{\perp}) и параллельно (I_{\parallel}) плоскости падения, соответственно равна:

$$I_{\perp} = \frac{I_0}{2} \cdot \left[\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \right]^2; \quad I_{\parallel} = \frac{I_0}{2} \cdot \left[\frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \right]^2,$$

где I_0 – интенсивность естественного света, падающего на зеркало; α и β – углы падения и преломления света.

2. Закон Брюстера. При отражении естественного света от диэлектрика с относительным показателем преломления $n_{21} = n_2/n_1$ возникает полностью поляризованная волна, у

которой электрический вектор колеблется перпендикулярно плоскости падения, если угол падения α удовлетворяет условию

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_{21}.$$

3. Закон Малюса. Интенсивность света, последовательно прошедшего через поляризатор и анализатор, определяется выражением

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi,$$

где φ – угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора; I_0 – интенсивность естественного (неполяризованного) света, падающего на поляризатор; I_1 – интенсивность плоско поляризованного света на выходе поляризатора.

4. Скорости распространения обыкновенного и необыкновенного лучей в двоякопреломляющем кристалле соответственно равны

$$v_0 = c/n_0; \quad v_e = c/n_e,$$

где n_0 и n_e – показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей.

5. Степень поляризации частично поляризованного света

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

где I_{max} и I_{min} – максимальная и минимальная интенсивности света, пропускаемого анализатором.

6. Оптическая разность хода Δ и разность фаз $\Delta\varphi$ между обыкновенным и необыкновенным лучами монохроматического света, прошедшими через пластину одноосного кристалла вдоль его оптической оси:

$$\Delta = \Delta n \cdot d = (n_0 - n_e) \cdot d;$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda_0} = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_0 - n_e),$$

где d – толщина пластины; λ_0 – длина волны в вакууме.

7. Пластика в четверть волны, пластина в полволны, пластина в целую волну – пластина, вырезанная параллельно

оптической оси одноосного дwoякопреломляющего кристалла, в которой возникает сдвиг фаз $\Delta\varphi$ между обыкновенным и необыкновенным лучами, распространяющимися перпендикулярно пластинке, равный $\pm\pi/4$, $\pm\pi/2$ и $\pm\pi$, соответственно. Оптическая разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей Δ в таких пластинках равна $\frac{\lambda_0}{4}$, $\frac{\lambda_0}{2}$ и λ_0 . Толщины пластинок в четверть волны, в полуволны и в целую волну:

$$d_{1/4} = \pm \left(m + \frac{1}{4} \right) \frac{\lambda_0}{n_0 - n_e};$$

$$d_{1/2} = \pm \left(m + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda_0}{n_0 - n_e};$$

$$d_1 = \pm \frac{m\lambda_0}{n_0 - n_e},$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$; λ_0 – длина волны света в вакууме; знаки плюс и минус соответствуют оптически отрицательному и оптически положительному кристаллам.

Независимо от толщины пластинки при угле $\alpha = 0$ между оптической осью кристалла и направлением поляризации падающего плоско (линейно) поляризованного света на выходе пластинки будет только необыкновенный луч. В случае $\alpha = \pi/2$ на выход пройдет только обыкновенный луч.

При $\alpha = \pi/4$ на выходе пластинки в четверть волны падающий плоско поляризованный свет становится циркулярно поляризованным и наоборот, циркулярно поляризованный свет при прохождении такой пластины преобразуется в плоско поляризованный. В общем случае произвольного угла α на выходе из пластинки в четверть волны падающий плоско поляризованный свет становится эллиптически поляризованным.

Свет, выходящий из пластинки в полволны, остается плоско (линейно) поляризованным. Направления плоскостей

поляризации падающего и выходящего света симметричны относительно главной плоскости пластинки и отклонены на угол α , равный углу между оптической осью кристалла и направлением поляризации падающего света. Свет, выходящий из пластинки в целую волну, остается линейно поляризованным в той же плоскости, что и падающий свет.

8. Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

$$\text{а) для твердых тел: } \varphi = \varphi_0 \cdot l;$$

$$\text{б) для растворов: } \varphi = C\varphi_0 \cdot l,$$

где φ_0 – удельное вращение плоскости поляризации; l – толщина оптически активного вещества; C – концентрация оптически активного вещества в растворе.

9. Эффект Керра. Разность показателей преломления поляризованной жидкости для обыкновенного и необыкновенного лучей монохроматического света в направлении, перпендикулярном вектору напряженности электрического поля \vec{E} :

$$\Delta n = n_o - n_e = B\lambda E^2,$$

где B – постоянная Керра. Оптическая разность хода Δ и разность фаз $\Delta\varphi$, возникающие между обыкновенным и необыкновенным лучами на пути l :

$$\Delta = \Delta n \cdot l = (n_o - n_e) \cdot l = B\lambda_0 l E^2;$$

$$\Delta\varphi = 2\pi\Delta/\lambda_0 = 2\pi B l E^2.$$

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Что называется естественным светом, плоско поляризованным светом, частично поляризованным, эллиптически поляризованным и поляризованным по кругу светом?

2. Что называется оптической осью анизотропной среды? Какую поляризацию может иметь свет, распространяющийся вдоль оптической оси?

3. Какие существуют способы получения поляризованного света?

4. Как практически отличить плоско поляризованный свет от естественного света?

5. Что такое угол Брюстера? Сформулируйте закон Брюстера. Что такое двойное лучепреломление?

6. Можно ли с помощью поляризатора отличить эллиптически поляризованный свет от частично поляризованного света? Почему?

7. Как, используя пластинку в четверть длины волны и поляризатор, отличить частично поляризованный свет от эллиптически поляризованного или поляризованного по кругу света?

8. Нарисуйте лучевые поверхности для оптически положительного и оптически отрицательного кристалла.

ЗАДАЧИ

Поляризация света при отражении от границы раздела сред

39. Найти угол максимальной поляризации α_B при отражении света от стекла, показатель преломления которого равен $n = 1,57$.

Ответ: $\alpha_B = 57^\circ 30'$.

40. Угол максимальной поляризации при отражении света от кристалла каменной соли равен 57° . Определить скорость распространения света в этом кристалле.

Ответ: $1,948 \cdot 10^8$ м/с.

41. Естественный свет переходит из воды в стекло таким образом, что луч, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол между падающим и преломленным лучами. Показатель преломления стекла $n_1 = 1,5$, воды $n_2 = 1,3$.

Ответ: $\varphi = 172^\circ$.

42. Предельный угол полного внутреннего отражения на границе жидкости с воздухом равен $\alpha_0 = 43^\circ$. Определить угол Брюстера α_B для луча, падающего из воздуха на поверхность этой жидкости.

Ответ: $\alpha_B = 55,7^\circ$.

43. Предельный угол полного отражения для пучка света на границе кристалла каменной соли с воздухом равен $\varphi_0 = 40,5^\circ$. Определить угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого кристалла.

Ответ: $\alpha_B = 57^\circ$.

44. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд ($n = 1,5$) и отражается от дна. Отраженный луч полностью поляризован при падении его на дно сосуда под углом $\alpha_B = 42^\circ 37'$. Найти показатель преломления жидкости n . Под каким углом α должен падать на дно сосуда луч света, распространяющийся в этой жидкости, чтобы наступило полное внутреннее отражение?

Ответ: $n = 1,63$; $\alpha_0 = 66,9^\circ$.

45. На какой угловой высоте над горизонтом должно находиться Солнце, чтобы солнечный свет, отраженный от поверхности воды, был максимально поляризован?

Ответ: $\alpha = 37^\circ$.

46. Луч естественного света падает на полированную грань стеклянной пластины, погруженной в жидкость. Отраженный от пластины луч повернут на угол $\varphi = 97^\circ$ по отношению к падающему лучу. Определить коэффициент преломления жидкости, если отраженный луч максимально поляризован.

Ответ: 1,33.

47. На плоскопараллельную стеклянную пластинку из воздуха под углом Брюстера падает узкий пучок света интенсивностью I_0 . Определить с помощью формулы Френеля:

а) интенсивность прошедшего пучка, если падающий свет плоско поляризован, причем плоскость его колебаний перпендикулярна плоскости падения; б) степень поляризации прошедшего через пластинку пучка, если падает естественный свет.

Ответ: а) $I = 4I_0 n^2 / (1 + n^2)^2 = 0,852I_0$;

б) $P_2 = (n^2 - 1)^2 / [(n^2 + 1)^2 + 4n^2] = 0,08$.

Закон Малюса

48. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора равен $\varphi_A = 45^\circ$. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до $\varphi_B = 60^\circ$.

Ответ: в два раза.

49. Найти угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, проходящего через поляризатор и анализатор, уменьшается в 4 раза.

Ответ: $\varphi = 45^\circ$.

50. Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен φ . Поляризатор и анализатор поглощают и отражают каждый по 8 % интенсивности падающего на них света. Оказалось, что интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 9 % интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол φ .

Ответ: $\varphi = 62^\circ 32'$.

51. Два николя расположены так, что угол между их плоскостями пропускания равен $\varphi = 60^\circ$. Определить: 1) во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света при прохождении через один николю; 2) во сколько раз уменьшится

интенсивность света через оба николя? При прохождении каждого из николей суммарные потери света на отражение и поглощение составляют 5 %.

Ответ: 1) в 2,1 раза; 2) в 8,86 раза.

52. Интенсивность света, прошедшего через анализатор и поляризатор, составляет 12 % от интенсивности естественного света, падающего на поляризатор. Коэффициент поглощения света для поляризатора и анализатора одинаков и равен 0,07. Найти угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора. Потери на отражение не учитывать.

Ответ: $\varphi = 58,3^\circ$.

53. Пучок естественного света падает на систему из 5 николей, плоскость пропускания каждого из которых повернута на угол $\varphi = 15^\circ$ относительно плоскости пропускания предыдущего николя. Определить, какая часть светового потока проходит через данную систему николей? Потери на отражение и поглощение не учитывать.

Ответ: $I_5/I_0 = 0,379$.

54. Поляризатор освещен параллельным пучком естественного света, падающего перпендикулярно к его поверхности. Освещенность поляризатора 84 лк. Какова освещенность экрана, поставленного за анализатором, если плоскость поляризатора и анализатора сдвинуты на угол $\varphi = 60^\circ$ и каждый николь поглотит 4 % проходящего через него света?

Ответ: 9,68 лк.

55. Плоскополяризованный свет интенсивностью $I_0 = 100 \text{ лм/м}^2$ проходит последовательно через два совершенных поляризатора, плоскости которых образуют с плоскостью колебаний в исходном луче углы $\alpha_1 = 20^\circ$ и $\alpha_2 = 50^\circ$ (углы отсчитаны от плоскости колебаний по часовой стрелке, если смотреть вдоль луча). Определить интенсивность света на выходе второго поляризатора.

Ответ: $I = 66 \text{ лм/м}^2$.

Свойства поляризованного света

56. Определить степень поляризации частично поляризованного света, если амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света на выходе анализатора, в 3 раз больше амплитуды, соответствующей его минимальной интенсивности.

Ответ: $P = 0,8$.

57. Степень поляризации частично поляризованного света равна $P = 0,5$. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света I_{max} , прошедшего через анализатор, от минимальной интенсивности I_{min} ?

Ответ: в три раза.

58. Пучок естественного света ($\lambda = 589 \text{ нм}$) падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно к его оптической оси. Найти длины волн обыкновенного λ_o и необыкновенного λ_e лучей в кристалле исландского шпата, если показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей равны $n_o = 1,66$ и $n_e = 1,49$.

Ответ: $\lambda_o = 355 \text{ нм}$; $\lambda_e = 395 \text{ нм}$.

59. Кристаллическая пластинка исландского шпата с наименьшей толщиной $d = 0,86 \text{ мкм}$ служит пластинкой в четверть волны для монохроматического света $\lambda = 0,59 \text{ мкм}$. Определить разность показателей преломления Δn обыкновенного и необыкновенного лучей.

Ответ: $\Delta n = 0,171 \cdot 10^{-3}$.

60. Параллельный пучок света падает нормально на пластинку из исландского шпата толщиной $d = 50 \text{ мкм}$, вырезанную параллельно оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного

лучей равными $n_o = 1,66$ и $n_e = 1,49$, определить оптическую разность хода этих лучей, прошедших через пластинку.

Ответ: $\Delta = 8,5 \text{ мкм}$.

61. Определить наименьшую толщину кристаллической пластинки в четверть длины волны для $\lambda_0 = 530 \text{ нм}$, если разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для этой длины волны равна $(n_o - n_e) = 0,01$.

Ответ: $d = 13,3 \text{ мкм}$.

62. Монохроматический пучок света проходит через ячейку Керра со скрещенными николями. Конденсатор заполнен сероуглеродом, длина пластин конденсатора 10 мм, расстояние между пластинами 2,2 мм. Если на конденсатор подать напряжение 7,15 кВ, яркость света, выходящего из анализатора, окажется максимальной. Определить константу Керра для света данной частоты.

Ответ: $4,734 \cdot 10^{-12} \text{ м/В}^2$.

Вращение плоскости поляризации

63. Пластинка кварца толщиной $d_1 = 2 \text{ мм}$, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определенной длины волны на угол $\varphi_1 = 30^\circ$. Определить толщину кварцевой пластинки, помещенной между параллельными николями, чтобы свет гасился полностью.

Ответ: $d_2 = 6 \text{ мм}$.

64. Определить толщину кварцевой пластинки, для которой угол поворота плоскости поляризации монохроматического света равен $\varphi = 180^\circ$. Удельное вращение в кварце для данной длины волны равно $\varphi_0 = 0,52 \text{ рад/мм}$.

Ответ: $d = 6,04$ мм.

65. Кварцевую пластинку толщиной $d = 1,5$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi = 45^\circ$. При какой минимальной толщине кварцевой пластинки поле зрения поляризатора станет совершенно темным? Что произойдет в последнем случае, если николи скрестить под углом $\alpha = 90^\circ$?

Ответ: $d = 3$ мм. Поле зрения станет максимально светлым.

66. Между двумя параллельными николями помещают кварцевую пластинку толщиной $d_1 = 1$ мм, вырезанную параллельно оптической оси. При этом плоскость поляризации монохроматического света, падающего на анализатор, повернулась на угол $\varphi = 20^\circ$. При какой минимальной толщине пластинки свет не пройдет через анализатор?

Ответ: $d_2 = 4,5$ мм.

67. При прохождении света через слой 5 %-ного сахарного раствора толщиной 15 см плоскость поляризации света повернулась на угол $6,5^\circ$. На какой угол повернет плоскость поляризации 13 %-ный раствор сахара с толщиной слоя 12 см?

Ответ: на $13,5^\circ$.

68. При прохождении монохроматического плоско поляризованного света через раствор сахара с концентрацией $C_1 = 15\%$, находящегося в трубке длиной $l_1 = 25$ см, плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 18^\circ$. При пропускании света через другой раствор сахара, находящийся в трубке длиной $l_1 = 15$ см, плоскость поляризации повернулась на угол $\varphi_2 = 6,7^\circ$. Определить концентрацию C_2 второго раствора.

Ответ: $C_2 = 9,3 \%$.

4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. При переходе через границу раздела либо при отражении от неё частота электромагнитных волн (ЭМВ) не изменяется.

2. При отражении от оптически менее плотной среды фаза отражённой волны не меняется.

3. При отражении от оптически более плотной среды фаза отражённой волны изменяется на π .

4. Оптическая длина пути световой волны:

$$L = nl,$$

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

5. Оптическая разность хода двух световых волн:

$$\Delta = |L_1 - L_2|.$$

6. Разность фаз двух когерентных световых волн:

$$\delta = k\Delta = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta,$$

где k – волновое число; λ – длина волны; Δ – оптическая разность хода волн.

7. Амплитуда волны, полученной в результате сложения двух когерентных волн с амплитудами A_1 и A_2 равна

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\Delta\right).$$

8. Условия максимумов интенсивности света при интерференции когерентных волн от двух источников, записанные для разности фаз $\delta\varphi$ и разности хода Δ двух волн:

$$\delta\varphi = \pm 2m\pi,$$

$$\Delta = \pm m\lambda,$$

где $m = 0, 1, 2, 3, \dots$.

9. Условия минимумов интенсивности света при интерференции световых волн от двух когерентных источников, записанные для разности фаз $\delta\varphi$ и разности хода Δ двух волн:

$$\delta\varphi \pm (2m + 1)\pi,$$

$$\Delta = \pm(2m + 1)\lambda/2,$$

где $m = 0, 1, 2, 3, \dots$.

10. Оптическая разность хода двух волн в произвольной точке y_m интерференционной картины наблюдаемой на экране, расположенном параллельно двум когерентным щелевым источникам света в опыте Юнга (рис. 9), при наблюдении интерференции от зеркал Френеля или бипризмы Френеля (рис. 10):

$$\Delta = \frac{d}{L} y_m,$$

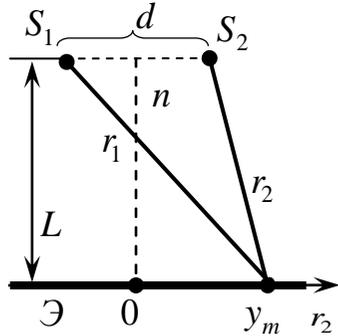


Рис. 9. Разность хода между лучами в опыте Юнга

где d – расстояние между источниками S_1 и S_2 ; L – расстояние от источников до экрана.

11. Ширина интерференционной полосы (расстояние между соседними минимумами) и расстояние между интерференционными максимумами (минимумами) на экране в опыте Юнга:

$$h = \frac{L}{d} \lambda,$$

где d – расстояние между источниками S_1 и S_2 ; L – расстояние от источников до экрана λ – длина волны.

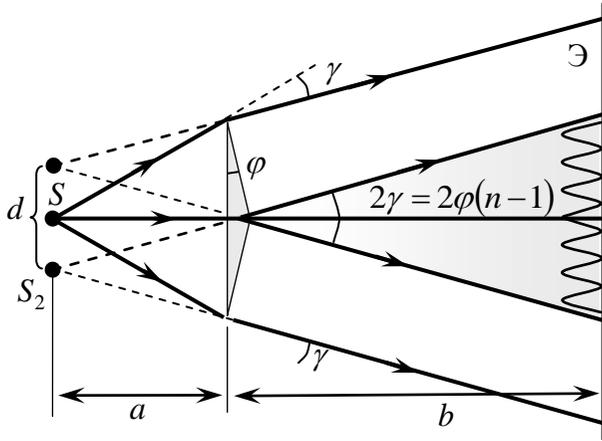


Рис.10. Возникновение интерференционной картины на экране в опыте с бипризмой Френеля

12. Распределение интенсивности света на экране в опыте Юнга при условии, что интенсивность, возникающая при освещении каждым из источников одинакова и равна I_0 (рис. 11):

$$I = 2I_0 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{h} y_m\right) \right],$$

где I_0 – интенсивность, возникающая при освещении одним

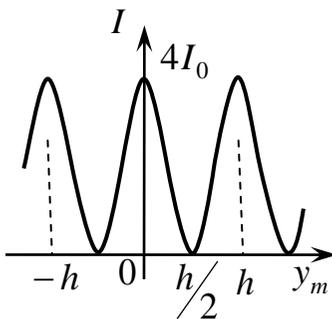


Рис. 11. Распределение интенсивности света в опыте Юнга

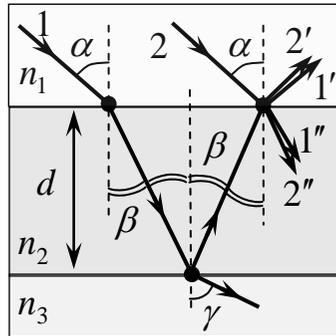


Рис. 12. Ход лучей при интерференции в тонкой пленке

источником; $y_m = \frac{L}{d} \delta$; δ – разность фаз двух когерентных световых волн.

13. Оптическая разность хода световых волн при их интерференции в тонкой плёнке в отражённом и проходящем свете без учёта потери полуволны при отражении от оптически более плотной среды (на рис. 12 показан ход лучей в плёнках):

$$\Delta' = |L_1 - L_2| = 2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha},$$

где d – толщина плёнки; n_2 – показатель преломления плёнки; α – угол падения луча; n_1 и n_3 – показатели преломления сред, в которых расположена плёнка.

14. Радиусы колец Ньютона (светлых и темных) при наблюдении интерференции в монохроматическом свете (рис. 13):

– светлые кольца в отражённом свете или темные в проходящем свете

$$r_m = \sqrt{(2m-1)R \frac{\lambda}{2n_2}};$$

– темные кольца в отражённом свете и светлые в проходящем свете

$$r_m = \sqrt{mR \frac{\lambda}{n_2}}.$$

Здесь R – радиус кривизны линзы; $m = 1, 2, 3, \dots$ – номер интерференционного кольца; n_2 – показатель преломления среды между линзой и пластинкой. $n_2 < n_1$ и $n_2 < n_3$.

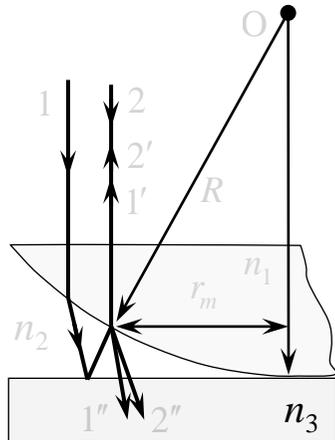


Рис. 13. Ход лучей при наблюдении колец Ньютона.

15. Длина и радиус когерентности

$$l_{\text{ког}} \approx \lambda^2 / \Delta\lambda, \quad \rho_{\text{ког}} \approx \lambda / \varphi,$$

где λ – среднее значение длины волны; $\Delta\lambda$ – ширина спектра;

$\varphi = \frac{D}{r}$ – угловой размер источника; D – размер источника

света; r – расстояние от источника до экрана.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Монохроматический свет длиной волны λ от ярко освещенной щели S , параллельной линии пересечения зеркал, после отражения от них попадает на экран \mathcal{E} (рис. 10). Расстояние от линии пересечения зеркал до щели равно r , до экрана – b . Определить ширину h интерференционных полос и их возможное количество.

Решение. Ширину интерференционных полос можно найти по формуле $h = \frac{L}{d} \lambda$, полагая $L = a + b$ и $d = 2\gamma a$ (рис. 10). Таким образом,

$$h = \frac{\lambda}{2\gamma} \left(1 + \frac{b}{a} \right).$$

Если источник света находится далеко от зеркал, т.е. при $a \gg b$,

то на них падает плоская волна и тогда ширина полос $h' = \frac{\lambda}{2\gamma}$

становится независимой от положения экрана. Число возможных полос на экране N находится как отношение ширины зоны интерференции l к ширине полосы h . Из рис. 10 видно, что $l = b \cdot 2\gamma$. Таким образом,

$$N = \frac{4\gamma^2}{\lambda} \frac{ab}{a+b} \quad \text{или} \quad N' = \frac{4\gamma^2}{\lambda} b.$$

Пример 2. На толстую стеклянную пластинку с показателем преломления n_3 , покрытую тонкой плёнкой, показатель преломления которой $n_2 = 1,4$, падает параллельный пучок монохроматического света ($\lambda = 0,5$ мкм) под углом $\alpha = 30^\circ$ (рис. 14). При какой толщине d плёнки отражённый свет вследствие интерференции будет максимально ослаблен.

Решение. В точках B и C световой пучок частично отражается от границы сред и частично преломляется. Образованные при отражении лучи $1'$ и $2'$ являются когерентными и интерferируют. Условие максимального ослабления света при интерференции состоит в том, что оптическая разность хода Δ этих лучей должна быть равна нечетному числу длин полуволин:

$$\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где λ – длина волны света; $m = 0, 1, 2, \dots$

Как видно из рис. 14, оптическая разность хода лучей без учёта изменения фазы волны при отражении от оптически более плотной среды равна

$$\Delta' = (AB + BC)n_2 - (CD)n_1. \quad (2)$$

В теоретическом курсе доказывается, что уравнение (2) представимо в виде

$$\Delta' = 2d \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha}. \quad (3)$$

Поскольку $n_1 < n_2 < n_3$, то в точке C и в точке B происходит отражение от оптически более плотной среды. В этом случае

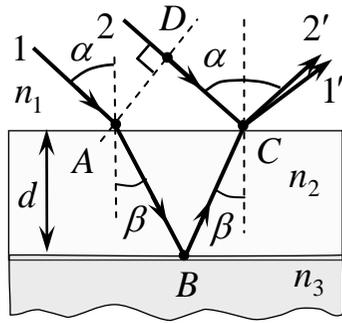


Рис. 14. Ход лучей в стеклянной пластине

фаза колебания световой волны изменяется на π и для луча 1, и для луча 2. Поэтому результат интерференции этих лучей будет такой же, как если бы изменения фазы не было вообще. В этом случае $\Delta' = \Delta$. Итак, условие минимума интерференции с учётом уравнений (1) и (3) принимает вид

$$2d\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

Отсюда толщина плёнки $d = \frac{(2m + 1)\lambda}{4\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \alpha}}$.

Подставляя числовые значения в последнее соотношение, получим:

$$d \approx (2m + 1) 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Полагая $m = 0, 1, 2, \dots$, получим ряд возможных значений толщины плёнки: $d_0 \approx 0,1 \cdot 10^{-6}$ м, $d_1 \approx 0,3 \cdot 10^{-6}$ м и т. д.

Пример 3. В каких пределах может изменяться толщина тонкой плёнки ($n = 1,6$), чтобы можно было наблюдать интерференционный максимум 12-го порядка для $\lambda = 600$ нм в отраженном свете? Плёнка находится в воздухе ($n_0 = 1,0$).

Решение. Максимум интерференции при отражении от тонкой плёнки будет наблюдаться при выполнении условия

$$2d\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} = m\lambda,$$

или
$$d = \frac{(2m - 1)\lambda}{4d\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}}, \quad (1)$$

где d – толщина пластинки; α – угол падения лучей на пластинку; m – порядковый номер интерференционной полосы. Из равенства (1) видно, что толщина пластинки будет минимальной, если интерференция наблюдается под углом

$\alpha = 0$, и максимальной, если интерференция наблюдается под углом $\alpha = \pi/2$. Таким образом,

$$d_{\min} = \frac{(2 \cdot 12 - 1) \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1,6} \text{ м} \approx 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ м} \approx 2,2 \text{ мкм};$$

$$d_{\max} = \frac{(2 \cdot 12 - 1) \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot \sqrt{1,6^2 - 1}} \text{ м} \approx 2,76 \cdot 10^{-6} \text{ м} \approx 2,76 \text{ мкм}.$$

Толщина пластинки может меняться в пределах от 2,2 мкм до 2,76 мкм.

Пример 4. Свет от удаленного точечного источника падает нормально на поверхность воздушного клина ($n = 1,002$), образованного двумя стеклянными пластинками ($n_0 = 1,50$) с углом при вершине $\gamma = 1'$ (рис. 16). Длина волны падающего света $\lambda = 500,10$ нм, а его ширина $\Delta\lambda = 0,01$ нм. Интерференцию наблюдают в отраженном свете. Определите: 1) расстояние h между двумя соседними полосами; 2) максимальное количество полос N , которое можно было бы видеть на клине, если бы его размеры не были ограничены; 3) расстояние l последней наблюдаемой полосы от вершины клина; 4) толщину d клина в этом месте.

Решение. 1. Найдем расстояние между интерференционными полосами. Условие максимума (минимума) интерференции выполняется для всех точек клина с одинаковой толщиной (полосы равной толщины). Таким образом, интерференционная картина будет представлять собой систему прямолинейных полос, параллельных ребру клина. Запишем условие

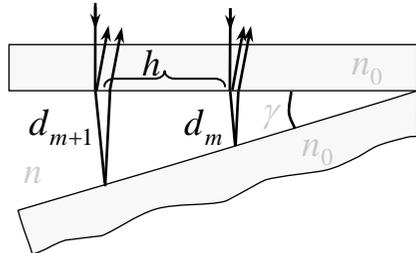


Рис. 15. Наблюдение полос равной толщины

собой систему прямолинейных полос, параллельных ребру клина. Запишем условие

максимумов для двух соседних полос с номерами m и $m + 1$, учитывая, что угол падения равен нулю:

$$2d_m n + \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \quad 2d_{m+1} n + \frac{\lambda}{2} = (m+1)\lambda.$$

Вычитая эти равенства, находим:

$$2(d_{m+1} - d_m)n = 2\Delta d n = \lambda. \quad (1)$$

Из рис. 16 следует

$$\Delta d = \gamma h. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2) находим

$$h = \frac{\lambda}{2n_0\gamma}. \quad (3)$$

$$h = \frac{500,10 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 1,5 \cdot 291 \cdot 10^{-6}} = 0,57 \text{ мм.}$$

2. Теперь найдем максимальное число полос на клине. Допустим, что источник излучает волну, состоящую из двух монохроматических волн, с длинами $\lambda_1 = \lambda$ и $\lambda_2 = \lambda$. Интерференционные полосы на клине не будут наблюдаться (исчезнут), если в точке A , расположенной на расстоянии l от вершины клина, для длины волны λ_1 будет наблюдаться минимум интенсивности (темная полоса), а для λ_2 – максимум интенсивности (светлая полоса). Оптическую разность хода волн в данной точке можно определить следующим образом:

$$\Delta = (2m+1)\frac{\lambda_1}{2} \quad \text{или} \quad \Delta = m\lambda_2 = m(\lambda_1 + \Delta\lambda),$$

где m (порядок интерференционной полосы) и есть число наблюдаемых полос N . Оно равно

$$N = \frac{\lambda_1}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} = \frac{\lambda_1}{2\Delta\lambda}. \quad (4')$$

По условию задачи, свет излучаемый источником представляет собой непрерывно и равномерно заполненную спектральную

линию между длинами волн λ_1 до λ_2 . Такую спектральную линию можно представить как излучение, состоящее из двух линий шириной $\Delta\lambda/2$ каждая, с расстоянием между ними $\Delta\lambda/2$. Применяя предыдущие рассуждения к «новому» излучению, найдем искомое число полос N из предыдущего результата (4') заменой $\Delta\lambda$ на $\Delta\lambda/2$:

$$N = \lambda/\Delta\lambda. \quad (4)$$

Таким образом, считая спектральную линию сплошной, находим $N \approx 50\,000$.

3. Расстояние l равно произведению ширины одной полосы h (3) на число полос N (4), т.е.

$$l = \frac{\lambda}{2n\gamma} \cdot \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\lambda^2}{2n\gamma\Delta\lambda}, \quad l = 28,5 \text{ м.}$$

4. Толщину d клина на расстоянии l от вершины клина, где наблюдается последняя полоса (эта толщина, равна длине когерентности), найдём из соотношения:

$$d = l\gamma = \frac{\lambda^2}{2n\Delta\lambda} \cong 8,3 \text{ см.}$$

Пример 5. Две одинаковые плосковыпуклые линзы из кронгласа ($n = 1,51$) соприкасаются своими сферическими поверхностями. Определить оптическую силу такой системы, если в отражённом свете с длиной волны $\lambda = 0,60$ мкм диаметр пятого светлого кольца Ньютона равен $d_m = 1,5$ мм. Окружающей средой линз является воздух.

Решение. Оптическая сила двояковыпуклой линзы D_0 определяется радиусами кривизны её поверхности, показателем преломления материала n , из которого она изготовлена и показателем преломления среды n_0 , в которую она помещена:

$$D_0 = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

По условию задачи система состоит из двух линз. Следовательно, оптическая сила системы равна сумме оптических сил каждой линзы $D = D_0$. С другой стороны, линзы плосковыпуклые, следовательно, $R_1 = R$, а $R_2 = \infty$. Таким образом, оптическая сила системы равна

$$D = 2 \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \frac{1}{R}. \quad (1)$$

Радиус кривизны линзы можно определить из условия наблюдения максимума интерференции в отражённом свете

$$r_m^2 = 2(2m-1) \frac{\lambda}{2n_0} R, \quad (2)$$

где r_m – радиус m -го светлого кольца ($m = 1, 2, 3, \dots$).

Найдём из уравнения (2) R и подставив в уравнение (1), получим

$$D = 2 \frac{(n - n_0)(2m-1)\lambda}{(n_0 r_m)^2} = 8 \frac{(n - n_0)(2m-1)\lambda}{(n_0 d_m)^2};$$

$$D = 8 \frac{(1,51 - 1,00)(10 - 1)6 \cdot 10^{-7}}{(1,5 \cdot 10^{-3})^2} = 9,8 \text{ дптр.}$$

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Какие волны называются когерентными?
2. Перечислите методы получения когерентных световых волн от обычных источников света?
3. Чему равна амплитуда A колебания, являющегося суперпозицией N некогерентных колебаний одинакового направления и одинаковой амплитуды A_0 ?
4. На какую величину ΔX изменится оптическая разность хода интерферирующих лучей при переходе от середины одной интерференционной полосы к середине другой?

5. В интерференционной установке на пути белого света был установлен один раз красный, другой раз зеленый светофильтр. В каком свете – красном или зеленом – число различимых интерференционных полос будет больше?

6. На экране наблюдают интерференционную картину от двух когерентных источников S_1 и S_2 , находящихся на расстоянии d друг от друга. Длина волны монохроматического света λ . Определить максимально возможное число интерференционных полос, если размеры экрана не ограничены.

7. Сколько полос интерференции можно наблюдать на экране в установке с зеркалами Френеля? Длина волны монохроматического света λ , угол между плоскостями зеркала γ , r – расстояние от источника до вершины угла, образованного зеркалами.

8. Как изменяется интерференционная картина на экране в опыте Юнга, если:

а) не изменяя расстояния между источниками света, удалять их от экрана?

б) не изменяя расстояния до экрана, сближать источники света?

в) источники света будут испускать свет с меньшей длиной волны?

9. Когда можно наблюдать полосы равной толщины и полосы равного наклона?

10. Что такое просветленная оптика?

11. Плоская световая волна, длина которой в вакууме λ_0 падает по нормали на прозрачную пластинку с показателем преломления n . При какой толщине b пластинки отраженная волна будет иметь: а) максимальную; б) минимальную интенсивность?

12. Воздушный клин, образованный двумя плоскопараллельными пластинами, освещается монохроматическим светом, при этом расстояние между полосами равно a_0 . Как изменится

расстояние между полосами, если пространство между пластинками, заполнить прозрачной жидкостью с показателем преломления n ?

13. Пленки прозрачного диэлектрика нанесены на две подложки из различных диэлектриков. Обе пленки образуют геометрически совершенно одинаковые клинообразные слои. Показатель преломления материала пленки равен n , а подложек – n_1 и n_2 , причем $n_1 < n < n_2$. Чем отличаются интерференционные картины, образующиеся при падении на пленки света одного и того же спектрального состава под одним и тем же углом?

14. Почему центр колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете, обычно темный, а в проходящем светлый?

15. Стеклянная линза ($n_1 = 1,5$) лежит на пластинке, одна половина которой сделана из того же сорта стекла, а другая из стекла с показателем преломления $n_2 = 1,7$. Опишите характер ньютоновских колец в отраженном и проходящем свете.

16. В установке для наблюдения колец Ньютона плосковыпуклая линза сделана подвижной и может перемещаться в направлении, перпендикулярном пластинке. Что будет происходить с кольцами Ньютона при удалении и приближении линзы к пластине. Кольца получают с помощью монохроматического света?

17. Что представляет собой голограмма? Как будет выглядеть голограмма маленького шарика?

18. Как получить голографическое изображение?

ЗАДАЧИ

Условия наблюдения интерференции

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

Ответ: 1) 2000; 2) 3000.

70. На пути монохроматической световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку ($n = 1,5$) толщиной $d = 1$ мм. На сколько изменится оптическая длина пути в проходящем свете, если волна падает на стеклянную пластинку: 1) перпендикулярно; 2) под углом 30° ?

Ответ: 1) 0,500 мм; 2) 0,548.

71. Луч лазера с длиной волны λ расщепляется на два. Один луч проходит через прозрачную плёнку толщиной d_1 с показателем преломления n_1 , а другой – через плёнку толщиной d_2 с показателем преломления n_2 . Остальной путь, проходимый лучами, одинаков. Найдите разность фаз между лучами.

Ответ: $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_1d_1 - n_2d_2)$.

72. На пути монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм находится плоскопараллельная стеклянная пластина ($n = 1,5$) толщиной $d = 0,1$ мм. Свет падает на пластинку нормально. На какой угол φ следует повернуть пластинку, чтобы оптическая длина пути L изменилась на $\lambda/2$.

Ответ: $[\varphi = n\lambda/(2d(n-1))]^{0,5} = 30$ м рад = $1,72^\circ$.

73. На экране наблюдается интерференционная картина от двух когерентных источников с длиной волны $\lambda = 600$ нм. При помещении на пути одного луча перпендикулярно ему мыльной плёнки ($n = 1,33$) интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой минимальной толщине d_{min} мыльной плёнки это возможно?

Ответ: $d_{min} = 0,91$ мкм.

74. Определить оптическую длину пути монохроматической световой волны распространяющейся вдоль оси ОХ и проходящей сквозь прозрачную пластину (рис. 16), показатель которой изменяется по

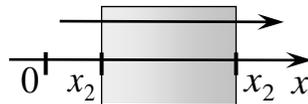


Рис. 16. Ход луча через тонкую пленку

закону: $n(x) = n_0 + \eta x$, где $n_0 = 1,33$, $\eta = 0,2 \text{ м}^{-1}$, $0 < x < 0,5 \text{ м}$.

Ответ: 0,92 м, при $x = 0,5 \text{ м}$.

75. Направления распространения двух плоских волн одной и той же длины λ составляют друг с другом малый угол φ . Волны падают на экран, плоскость которого приблизительно перпендикулярна направлению их распространения. Написав уравнение обеих плоских волн, и сложив поля этих волн, показать, что расстояние Δx между двумя соседними интерференционными полосами на экране определяется выражением $\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi}$.

76. Как изменится выражение для Δx в предыдущей задаче, если интерферирующие лучи падают на экран под углом θ ?

Ответ: $\Delta x = \frac{\lambda}{\varphi \cos \theta}$.

Двухлучевая интерференция

77. В опыте Юнга отверстия освещались монохроматическим светом ($\lambda = 600 \text{ нм}$). Расстояние между отверстиями $d = 1 \text{ мм}$, расстояние от отверстия до экрана $L = 3 \text{ м}$. Найти положение трех первых светлых полос.

Ответ: $y_1 = 1,8 \text{ мм}$; $y_2 = 3,6 \text{ мм}$; $y_3 = 5,4 \text{ мм}$.

78. Найти длину волны λ монохроматического излучения, если в опыте Юнга расстояние первого интерференционного максимума от центральной полосы $y_1 = 0,05 \text{ см}$, расстояние между щелями $d = 0,5 \text{ см}$, расстояние от щелей до экрана $L = 5 \text{ м}$.

Ответ: $\lambda = \frac{y_1 d}{L} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

79. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если зеленый светофильтр ($\lambda = 500$ нм), заменить оранжевым ($\lambda = 650$ нм).

Ответ: $\frac{h_2}{h_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1,3.$

80. В опыте Юнга стеклянная пластинка толщиной $d = 1$ см помещается на пути одного из интерферирующих лучей перпендикулярно ему. На сколько могут отличаться друг от друга значения показателя преломления n в различных местах неоднородной пластинки, чтобы изменение разности хода от этой неоднородности не превышало $0,6$ мкм?

Ответ: $\Delta n = 6 \cdot 10^{-5}.$

81. В опыте Юнга на пути одного интерферирующего луча со стороны экрана помещают стеклянный ($n = 1,5$) полуцилиндр радиусом R так, чтобы ось цилиндра совпадала с щелью. Вследствие этого центральная светлая полоса сместилась в положение, первоначально занятое $K = 5$ светлой полосой (не считая центральной). Длина волны света $\lambda = 600$ нм. Каков радиус цилиндра?

Ответ: $R = \frac{K\lambda}{n-1} = 6$ мкм.

82. На пути одного луча в интерференционной установке Юнга стоит трубка длиной $l = 2$ см с плоскопараллельными стеклянными основаниями, и наблюдается интерференционная картина, когда эта трубка наполнена воздухом. Затем трубка наполняется хлором и при этом наблюдается смещение интерференционной картины на $N = 20$ полос. Наблюдения производятся со светом линии D натрия ($\lambda = 589$ нм) при постоянной температуре. Принимая показатель преломления воздуха $n = 1,000276$, вычислить показатель преломления хлора.

В какую сторону смещаются полосы интерференции при наполнении сосуда хлором?

Ответ: $n_{Cl} = n + N \frac{\lambda}{l} = 1,000865$. Полосы интерференции сместятся в сторону трубки.

83. Для измерения показателя преломления аммиака в одно из плечей интерферометра Майкельсона поместили откаченную трубку длиной $l = 0,14$ м. Концы трубки закрыли плоскопараллельными стёклами. При заполнении трубки аммиаком интерференционная картина для длины волны $\lambda = 590$ нм, сместилась на $K = 180$ полос. Найти показатель преломления n аммиака.

Ответ: $n = 1,000379$.

84. В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения интерференционной картины на $K = 500$ полос потребовалось переместить зеркало на расстояние $L = 0,161$ мм. Найти длину волны λ падающего света.

Ответ: $\lambda = \frac{2L}{K} = 644$ нм.

85. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света $d = 0,5$ мм, а расстояние от них до экрана $L = 5$ м. В зеленом свете получились интерференционные полосы, расположенные на расстоянии $h = 5$ мм друг от друга. Найти длину волны зеленого света.

Ответ: $\lambda = 0,5$ мкм.

86. В опыте Ллойда световая волна, исходящая непосредственно из источника S (узкой щели), интерферирует с волной, отраженной от зеркала $З$ (рис. 17). В результате на экране $Э$ образуется система интерференционных полос.

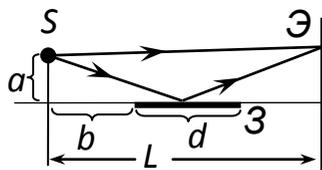


Рис. 17. Ход лучей в опыте Ллойда

Расстояние от источника до экрана $L = 100$ см. При некотором положении источника ширина интерференционной полосы на экране $\Delta x = 0,25$ мм, а после того как источник отодвинули от плоскости зеркала на $\Delta h = 0,60$ мм, ширина полос уменьшилась в $\eta = 1,5$ раза. Найти длину волны света.

Ответ: $\lambda = \frac{2\Delta x \Delta h}{l(\eta - 1)} = 0,6$ мкм.

87. Точечный источник света S расположен на расстоянии b от плоского зеркала Z на высоте a над плоскостью зеркала (рис. 18). Длина зеркала d . На расстоянии L от источника расположен экран \mathcal{E} . Определить вертикальный размер интерференционной картины на экране.

Ответ: $y = \frac{aLd}{b(b+d)}$.

88. Определить расстояние между центром интерференционной картины и пятой светлой полосой в установке с зеркалами Френеля (см. рис. 2) ($\gamma = 20''$, $r = 10$ см, $a = 1$ м), если длина волны $\lambda = 589$ нм. Интерферирующие лучи падают на экран приблизительно перпендикулярно.

Ответ: $x = \frac{m\lambda(a+r)}{2ar} \approx 2,8$ мм.

89. На металлическое зеркало нормально падает пучок света с длиной волны $\lambda = 500$ нм, причём образуются стоячие волны. На каком расстоянии от зеркала находится 1-я пучность и 1-й узел электрического вектора светового поля?

Ответ: $X_1^{пуч} = \frac{\lambda}{4} = 125$ нм, $X_2^{узл} = \frac{\lambda}{2} = 250$ нм.

90. На рис. 18 изображена схема опыта Френеля по наблюдению интерференции. Два одинаковых плоских зеркала образуют угол $2\alpha = 0,1$ рад. Точечный источник S находится на биссектрисе угла на расстоянии $d = 20$ см от линии пересечения

зеркал. При каком минимальном размере зеркал b на удалённом экране Э могут наблюдаться интерференционные полосы? Прямые лучи от источника на экран не попадают.

Ответ: $b=2d\alpha=2$ см.

91. На рис. 18 показана схема установки для наблюдения интерференции с помощью зеркал Френеля. Угол между зеркалами $\gamma = 12'$;

расстояние от линии пересечения зеркал до узкой щели S и экрана Э равно соответственно $r = 10$ см и $a = 130$ см. Длина волны света $\lambda = 550$ нм. Определить: а) ширину интерференционной полосы h на экране и число возможных максимумов N ; б) сдвиг интерференционной картины δx на экране при смещении щели на $\delta l = 1$ мм по дуге радиуса r с центром в точке O .

Ответ: а) $h = \frac{\lambda(a+r)}{2ar} = 1,1$ мм; $N = \frac{2a\gamma}{h} + 1 = 9$;

б) сдвиг картины $\delta x = \frac{a}{r} \delta l$.

92. Найти распределение интенсивности света I на экране как функцию координаты x (расстояния от центра интерференционной картины) в установке с зеркалами Френеля, показанной на рис. 18.

Ответ: $I = I_0 \cos^2 \left(\frac{2\pi r a}{\lambda(a+r)} x \right)$.

93. Человеку, идущему по горизонтальному участку дороги в пасмурный безветренный день, небольшая лужа, видневшаяся вдалеке на дороге, показалась синего цвета ($\lambda_1 = 0,43$ мкм). На каком расстоянии L от этой лужи она будет казаться человеку

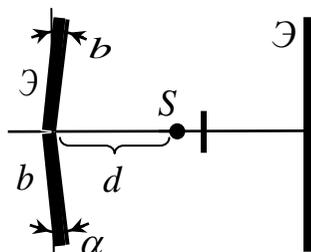


Рис. 18. Схема опыта с двойным зеркалом Френеля

зеленой ($\lambda_2 = 0,53$ мкм)? Считать, что глаза человека находятся все время на высоте $h = 1,85$ м от дороги. Показатель преломления очень тонкой пленки бесцветного масла на поверхности лужи равен $n = 1,5$, а воды – $n_B = 1,33$.

Ответ:
$$L = \frac{h}{\sqrt{\left[n^2 - (n^2 - 1) \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right]^{-2} - 1}} = 1,36 \text{ м.}$$

94. В интерференционной схеме параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм падает под углом $\alpha = 60^\circ$ на систему из двух плоскопараллельных полупрозрачных зеркал 1 и 2 (см. рис. 19). Часть светового пучка отражается от зеркала 1 , оставшаяся часть, пройдя зеркало 1 , частично отражается от зеркала 2 и, снова пройдя зеркало 1 , вместе с пучком, отраженным от зеркала 1 , с помощью собирающей линзы L фокусируется на приёмник Π , сигнал которого пропорционален

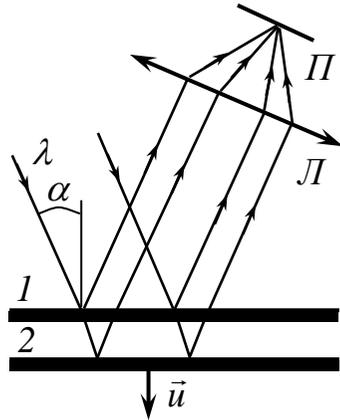


Рис. 19. Интерференция волн из параллельного пучка

интенсивности падающего на него света. Какова будет частота f переменного сигнала, регистрируемого приёмником, в случае равномерного движения второго зеркала (относительно первого) со скоростью $u = 0,01$ см/с?

Ответ:
$$f = \frac{2u \cos \alpha}{\lambda} = 200 \text{ Гц.}$$

95. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволоку. Проволока параллельна линии соприкосновения пластинок и находится на

расстоянии $L = 75$ мм от неё. В отражённом свете ($\lambda = 0,5$ мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр проволоки d , если на протяжении $l = 30$ мм насчитывается $N = 16$ световых полос.

Ответ: $d = 10$ мкм.

Интерференция в тонких пленках

96. На тонкую пластинку ($n = 1,5$) находящейся в воздухе падает параллельный пучок белого света. Угол падения $i = 60^\circ$. При какой толщине пластинки зеркально отражённый свет будет окрашен: 1) в зеленый цвет ($\lambda = 489,0$ нм); 2) в красный цвет ($\lambda = 637,5$ нм).

Ответ: $b_1 = (2m + 1) \cdot 10^{-7}$ м; $b_2 = (2m + 1) \cdot 1,3 \cdot 10^{-7}$ м.

97. На поверхность стеклянного объектива ($n = 1,5$) нанесена тонкая плёнка, показатель преломления которой $n = 1,2$. При какой наименьшей толщине d этой плёнки произойдёт максимальное ослабление отражённого света в средней части видимого спектра ($\lambda = 600$ нм)?

Ответ: $d = 115$ нм.

98. Тёмной или светлой будет в отражённом свете мыльная плёнка ($n = 1,33$) толщиной $d = 0,1\lambda$? Плёнка находится в воздухе.

Ответ: тёмной.

99. Пучок белого света падает нормально на стеклянную пластинку ($n = 1,7$) толщиной $d = 0,6$ мкм. Какие длины волн, лежащие в пределах видимого спектра ($400 < \lambda < 700$ нм), будут максимально ослаблены в результате интерференции? Наблюдение ведется в проходящем свете.

Ответ: $\lambda = 583$ нм, $m = 3$; $\lambda = 453$ нм, $m = 4$.

100. Найти минимальную толщину плёнки d_{min} с показателем преломления $n = 1,33$, при которой свет с длиной волны

$\lambda_1 = 640$ нм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны $\lambda_2 = 400$ нм не отражается совсем. Угол падения света $\alpha = 30^\circ$.

Ответ: $d_{min} = 0,65$ мкм.

101. На тонкую плёнку ($n = 1,33$) падает параллельный пучок белого света. Угол падения $\alpha = 52^\circ$. При какой толщине плёнки зеркально отраженный свет будет наиболее сильно окрашен в жёлтый цвет ($\lambda = 600$ нм).

Ответ: $d = \frac{\lambda(2m+1)}{4\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}} = (2m+1) \cdot 0,14$ мкм, где $m = 0, 1, 2, \dots$

102. На поверхности стекла находится плёнка воды ($n = 1,33$). На нее из воздуха ($n_0 = 1,0$) падает красный свет с длиной волны $\lambda = 0,68$ мкм под углом $\varphi = 30^\circ$ к нормали. Найти скорость, с которой уменьшается толщина пленки (из-за испарения), если интенсивность отраженного света меняется так, что промежуток времени между последовательными максимумами отражения $\Delta t = 15$ мин.

Ответ: $V = \frac{\lambda}{2\Delta t} \sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \varphi} = 1,1$ мкм/ч.

103. На стеклянный клин нормально к его грани падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 600$ нм. На каждом сантиметре поверхности клина наблюдается $N = 10$ интерференционных полос. Определить угол γ между плоскостями, образующими клин.

Ответ: $\gamma = \frac{m\lambda}{2Nl} = 0,2$ мрад = $41,2''$.

104. На стеклянный клин ($n = 1,7$) падает нормально пучок света с длиной волны $\lambda = 630$ нм. Угол клина $\gamma = 1'$. Какое число тёмных интерференционных полос в отражённом свете приходится на 1 см длины клина? Чему равно расстояние h между соседними тёмными интерференционными полосами?

Ответ: $m = 16$, $h = 0,637$ мм.

105. На стеклянный клин ($n = 1,7$) падает нормально свет с длиной волны $\lambda_1 = 600$ нм. Расстояние между жёлтыми соседними полосами равно $h_1 = 4$ мм. Затем на клин падает нормально свет с $\lambda_2 = 400$ нм. Найти расстояние h_2 между синими соседними полосами, если наблюдение ведётся в отражённом свете.

Ответ: $h_2 = 2,67$ мм.

106. Мыльная плёнка ($n = 1,33$), расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. При наблюдении интерференционных полос в отраженном свете ртутной дуги ($\lambda = 546,1$ нм) оказалось, что расстояние между пятью полосами $l = 2$ см. Найти угол γ клина. Свет падает перпендикулярно к поверхности плёнки.

Ответ: $\gamma = 11''$.

107. Пучок света ($\lambda = 582$ нм) падает перпендикулярно к поверхности стеклянного клина ($n = 1,5$). Угол клина $\gamma = 20''$. Какое количество N темных интерференционных полос приходится на единицу длины клина.

Ответ: $N = 500 \text{ м}^{-1}$.

108. Мыльная пленка ($n = 1,33$), расположенная вертикально, образует клин вследствие стекания жидкости. Интерференция наблюдается в отражённом свете через красное стекло ($\lambda = 631$ нм). Расстояние между соседними красными полосами при этом $h_1 = 3$ мм. Затем эта же плёнка наблюдается через синее стекло ($\lambda = 400$ нм). Найти расстояние h_2 между соседними синими полосами. Считать, что за время измерений форма пленки не изменяется и свет падает перпендикулярно к поверхности пленки.

Ответ: $h_2 = 1,8$ мм.

109. Свет с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм падает нормально на поверхность стеклянного клина. В отражённом свете наблюдают

систему интерференционных полос, расстояние между соседними максимумами которых $h = 0,21$ мм. Найти: а) угол γ между гранями клина; б) степень монохроматического света $(\Delta\lambda/\lambda)$, если исчезновение интерференционных полос наблюдается на расстоянии $l \approx 1,5$ см от вершины клина.

Ответ: а) $\alpha = \frac{\lambda}{2n\Delta x} = 3'$; б) $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{\Delta x}{l} = 0,014$.

Кольца Ньютона

110. Установка для получения колец Ньютона освещается белым светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиус кривизны линзы $R = 5$ м. Наблюдение ведётся в проходящем свете. Найти радиусы r_1 четвёртого синего кольца ($\lambda_1 = 400$ нм) и r_2 третьего красного кольца ($\lambda_2 = 630$ нм).

Ответ: $r_1 = 2,8$ мм; $r_2 = 3,1$ мм.

111. Установка для получения колец Ньютона освещается светом с длиной волны $\lambda = 589$ нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиус кривизны линзы $R = 10$ см. Пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено жидкостью. Найти показатель преломления n жидкости, если радиус третьего светлого кольца в проходящем свете $r_3 = 3,65$ мм.

Ответ: $n = 1,33$.

112. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Наблюдение ведётся в отражённом свете. Радиусы двух соседних тёмных колец равны $r_m = 4,0$ мм и $r_{m+1} = 4,38$ мм. Радиус кривизны линзы $R = 6,4$ м. Найти порядковые номера колец и длину волны λ падающего света.

Ответ: $m = 5, m+1 = 6; \lambda = 0,5$ мкм.

113. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. После того, как пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнили жидкостью, радиусы тёмных колец в отраженном свете уменьшились в 1,25 раза. Найти показатель преломления n жидкости.

Ответ: $n = 1,56$.

114. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 500$ нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Пространство между линзой и пластинкой заполнено водой. Найти толщину h слоя воды между линзой и пластинкой в том месте, где наблюдается третье светлое кольцо в отражённом свете.

Ответ: $h = 470$ нм.

115. Две одинаковые плосковыпуклые линзы из кронгласа ($n = 1,51$) соприкасаются своими сферическими поверхностями. Определить оптическую силу такой системы, если в отражённом свете с длиной волны $\lambda = 0,60$ мкм диаметр пятого светлого кольца Ньютона равен $d_5 = 1,5$ мм. Каков диаметр пятого кольца d'_5 , если пространство между линзами заполнено сероуглеродом ($n_1 = 1,63$)?

Ответ: $D = 2,4$ диоптрии; $d'_5 = 1,13$ мм.

116. Установка для получения колец Ньютона освещается светом от ртутной дуги, падающим по нормали к поверхности пластинки. Наблюдение ведётся в проходящем свете. Какое по порядку светлое кольцо, соответствующее линии $\lambda_1 = 579$ нм, совпадает со следующим светлым кольцом, соответствующим линии $\lambda_2 = 577$ нм?

Ответ: $m = 275$.

117. При наблюдении колец Ньютона в отражённом свете расстояние между первым и девятым тёмными кольцами

оказалось равным $\Delta r_1 = 3,2$ мм. Найти расстояние между вторым и восемнадцатым тёмными кольцами Ньютона?

Ответ: $\Delta r_2 = 4,5$ мм.

118. Между стеклянной пластиной ($n = 1,5$) и лежащей на ней плосковыпуклой стеклянной линзой ($n = 1,5$) находится жидкость. Радиус третьего светлого кольца Ньютона при наблюдении в отражённом свете с длиной волны $\lambda = 600$ нм равен $r_3 = 0,82$ мм. Найти показатель преломления жидкости n_0 , если радиус линзы $R = 0,6$ м.

Ответ: $n_0 = 1,34$.

119. Плоскопараллельная стеклянная пластинка ($n = 1,5$) лежит на одной из поверхностей двояковыпуклой линзы ($n = 1,5$). Кольца Ньютона наблюдаются в отражённом свете натриевой горелки ($\lambda = 589$ нм). Найдено, что радиус тёмного кольца порядка $m = 20$ (центральному тёмному кольцу соответствует $m = 0$) равен $r_1 = 2$ мм. Когда пластинка была положена на другую поверхность линзы, радиус тёмного кольца того же порядка сделался равным $r_2 = 4$ мм. Определить фокусное расстояние линзы.

Ответ: $F = \frac{r_1^2 r_2^2}{r_1^2 + r_2^2} \frac{1}{(n-1)m\lambda} = 54$ см.

120. Установка для наблюдения колец Ньютона в проходящем свете освещается светом $\lambda = 600$ нм, падающим нормально. Найти толщину h_m воздушного зазора в том месте, где наблюдается второе светлое кольцо.

Ответ: $h_m = 0,6$ мкм.

121. Плосковыпуклая линза с радиусом кривизны R_1 лежит на отражающей цилиндрической поверхности, радиус кривизны которой равен R_2 . Линзу освещают сверху. Какую форму имеют интерференционные полосы?

Ответ: интерференционные полосы имеют форму эллипсов,

уравнение эллипса $\frac{x^2}{2R_1 m \lambda} + \frac{y^2}{2m \lambda} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = 1$.

122. С помощью воздушного клина с углом при вершине γ наблюдаются полосы равной толщины в отраженном монохроматическом свете. Свет падает на клин нормально. Найти распределение освещенности E в интерференционной картине на поверхности клина. Считать интенсивности световых пучков, отраженных от обеих поверхностей клина, одинаковыми и равными I_0 .

Ответ: $E = 4I_0 \sin^2 \frac{2\pi x \gamma}{\lambda}$, x – расстояние от ребра клина.

123. Две тонкие симметричные линзы (одна двояковыпуклая, другая двояковогнутая) приложены вплотную друг к другу так, что между ними возникает контакт, вокруг которого в отраженном свете наблюдается интерференционная картина (кольца Ньютона). Определить оптическую силу системы из двух линз, если известно, что радиус восьмого темного кольца равен $r_8 = 4$ мм при длине волны $\lambda = 0,5$ мкм. Коэффициент преломления материала обеих линз $n = 1,5$.

Ответ: $D = \frac{2(n-1)m\lambda}{r^2} = 0,25$ дптр, где $m = 8$.

5. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Радиус внешней границы зоны Френеля номер m при дифракции от точечного источника света:

$$r_m = \sqrt{\frac{a \cdot b}{a + b} \cdot m \lambda}.$$

Радиус внешней границы зоны Френеля номер m при дифракции плоской световой волны:

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

Здесь a – расстояние от источника до волновой поверхности; b – расстояние от волновой поверхности (плоскости преграды) до точки наблюдения; λ – длина световой волны, m – номер зоны Френеля.

2. Площадь зоны Френеля номер m в случае сферического волнового фронта

$$\Delta S = \frac{\pi ab}{a+b} \lambda.$$

3. При падении плоской монохроматической световой волны нормально плоскости узкой щели шириной b условия для наблюдения:

а) максимумов интенсивности света: $\varphi = 0$, (центральный максимум или максимум нулевого порядка), а также

$$b \cdot \sin \varphi_k = \pm (2k - 1) \frac{\lambda}{2},$$

где φ_k – угол между нормалью к плоскости щели и направлением на k -й максимум интенсивности света, $k = 1, 2, 3, \dots$;

б) минимумов интенсивности света:

$$b \cdot \sin \varphi_k = \pm 2k \frac{\lambda}{2},$$

где φ_k – угол между нормалью к плоскости щели и направлением на k -й минимум интенсивности света, $k = 1, 2, 3, \dots$.

4. Условие минимумов и максимумов света при дифракции на плоской решетке с постоянной (периодом решётки) d , шириной щели b и числом щелей N :

а) если свет падает нормально к поверхности решётки, то направления, в которых наблюдаются главные минимумы интенсивности света, определяются из условия

$$b \cdot \sin \varphi_k = \pm k \lambda,$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ – порядковый номер дифракционного минимума, φ_k – угол между нормалью к поверхности решетки и направлением на дифракционный минимум;

б) если свет падает нормально к поверхности решётки, то направления, в которых наблюдаются главные максимумы интенсивности света, определяются из условия:

$$d \cdot \sin \varphi_k = \pm k \lambda,$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$ – порядковый номер дифракционного максимума, φ_k – угол между нормалью к поверхности решетки и направлением на дифракционный максимум;

в) если свет падает на решетку под углом i , то направления, в которых наблюдаются главные максимумы интенсивности света, определяются из условия:

$$d(\sin \varphi_k - \sin i) = \pm k \lambda.$$

г) в промежутках между соседними главными максимумами имеется $N - 1$ добавочных (вторичных) минимумов, они возникают в направлениях, для которых колебания от всей совокупности щелей взаимно погашают друг друга:

$$d \cdot \sin \varphi_{k'} = \pm \frac{k'}{N} \lambda,$$

где $k' = 1, 2, \dots, N - 1, N + 1, \dots, 2N - 1, 2N + 1, \dots$ – порядковый номер побочного дифракционного минимума, $\varphi_{k'}$ – угол между нормалью к поверхности решетки и направлением на побочный дифракционный минимум.

5. Угловой дисперсией дифракционной решетки называется величина

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \cos \varphi_k},$$

где $d\varphi$ – угловое расстояние на экране между спектральными линиями, различающимися по длине волны на $d\lambda$.

6. Линейной дисперсией дифракционной решетки называется величина

$$D = \frac{dl}{d\lambda} = FD = F \frac{d\varphi}{d\lambda},$$

где dl – линейное расстояние на экране между спектральными линиями, различающимися по длине волны на $d\lambda$, F – фокусное расстояние линзы, проецирующей спектр на экран.

7. Разрешающая способность дифракционной решетки

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

где λ и $\lambda + d\lambda$ – длины волн двух соседних спектральных линий, которые могут наблюдаться отдельно в спектре с помощью данной решетки; N – общее число щелей решетки; k – порядковый номер дифракционного максимума.

8. Условие максимумов при дифракции рентгеновских лучей на пространственной решетке (формула Вульфа–Брэгга):

$$2d \sin \theta = \pm k\lambda,$$

где d – расстояние между атомными плоскостями кристалла; θ – угол между направлением пучка параллельных рентгеновских лучей, падающих на кристалл и плоскостью кристалла (угол скольжения); λ – длина волны рентгеновских лучей; $k = 1, 2, 3, \dots$ – порядковый номер дифракционного максимума.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. На круглое отверстие радиусом $r = 1,0$ мм в непрозрачном экране падает нормально параллельный пучок света с длиной волны $\lambda = 0,50$ мкм. На пути лучей, прошедших через круглое отверстие, помещен экран. Определить максимальное расстояние от отверстия до экрана, при котором в центре дифракционной картины еще будет наблюдаться темное пятно.

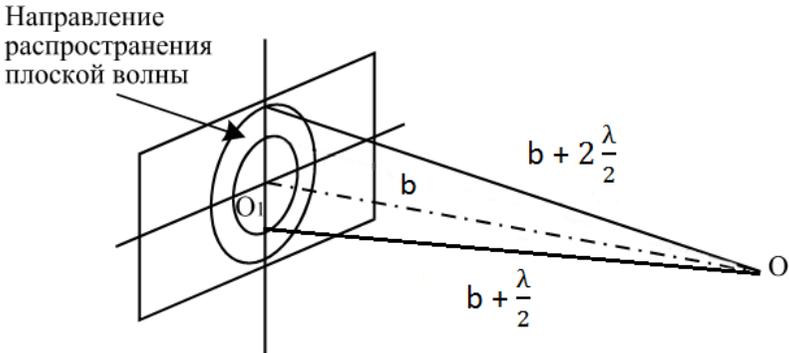


Рис. 20. В точку наблюдения O приходят волны из первых двух зон Френеля

Решение. Расстояние, при котором будет видно темное пятно, определяется числом зон Френеля, укладывающихся в отверстии. Если число зон чётное, то в центре дифракционной картины будет темное пятно.

Число зон Френеля, помещающихся в отверстии, убывает по мере удаления экрана от отверстия. Наименьшее четное число зон Френеля, при котором наблюдается минимум интенсивности света, равно двум. Следовательно, максимальное расстояние, при котором еще будет наблюдаться темное пятно в центре экрана, определяется условием, согласно которому в отверстии должно поместиться две зоны Френеля. Согласно рис. 20, расстояние от центра экрана O до края отверстия на $2\frac{\lambda}{2}$ больше, чем расстояние от центра экрана до центра отверстия $OO_1 = b$

По теореме Пифагора

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

мы учли, что $\lambda \ll b$.

$$\text{Откуда } b = \frac{r^2}{2\lambda} = \frac{(1,0 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 0,50 \cdot 10^{-6}} = 1,0 \text{ (м).}$$

Ответ. Максимальное расстояние от отверстия до экрана, при котором еще в центре дифракционной картины может наблюдаться темное пятно, равно 1,0 м.

Пример 2. На щель шириной $a = 0,1 \text{ мм}$ нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника $\lambda = 600 \text{ нм}$. Определить ширину центрального максимума дифракционной картины, создаваемой при помощи линзы, находящейся непосредственно за щелью, на экране, отстоящим от линзы на расстоянии $L = 1,0 \text{ м}$.

Решение. Центральный максимум занимает место между ближайшим правым и левым минимумами, поэтому ширину центрального максимума примем равной расстоянию между этими двумя минимумами (рис.21). Минимум интенсивности света при дифракции от узкой щели наблюдается под углом φ , определяемым условием:

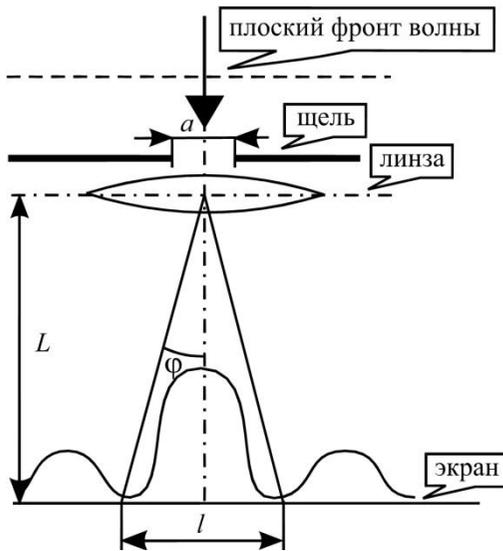


Рис.21. Схема опыта по наблюдению дифракции плоских волн

$$a \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad (1)$$

где a — ширина щели; λ — длина световой волны; $k = 1, 2, 3 \dots$ — порядок дифракционного минимума.

Расстояние между двумя минимумами на экране можно определить непосредственно из рис.22. При малых углах φ справедливы соотношения

$$l = 2L \operatorname{tg} \varphi, \text{ или } l = 2L \sin \varphi. \quad (2)$$

Выразив $\sin \varphi$ из (1) и подставив в (2), получим

$$l = 2L \frac{k\lambda}{a} = 2 \cdot 1,0 \cdot \frac{1 \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{1,0 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Ответ. Ширина центрального дифракционного максимума равна 12 мм.

Пример 3. На дифракционную решетку (рис.22) нормально к ее поверхности падает параллельный пучок лучей с длиной волны 500 нм. Помещенная вблизи решетки линза проектирует дифракционную картину на плоский экран, удаленный от линзы на расстояние $L = 1,00$ м. Расстояние между двумя максимумами первого порядка, наблюдаемыми на экране, $l = 20,2$ см. Определите: 1) постоянную дифракционной решетки; 2) число штрихов на единицу длины дифракционной решетки; 3) сколько максимумов дает при этом дифракционная решетка?

Решение. 1. Направления, в которых наблюдаются главные максимумы дифракционной картины, связаны с постоянной дифракционной решетки d и длиной волны λ света соотношением:

$$d \cdot \sin \varphi_k = \pm k \lambda, \quad (1)$$

где $k = 1, 2, 3 \dots$ – порядок спектрального максимума.

Из рисунка видно, что для максимумов первого порядка

$$\sin \varphi_1 = \frac{l}{2\sqrt{L^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}},$$

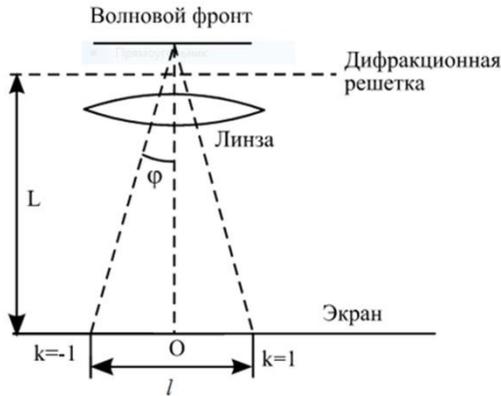


Рис.22. Схема опыта по наблюдению дифракции плоской волны на дифракционной решетке

но если $L \gg \frac{l}{2}$, то $\sin \varphi_1 \approx \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{l}{2L}$. Тогда из уравнения (1) имеем

$$d = \frac{2L\lambda}{l} = 2 \frac{1,0 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{0,202} = 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

2. Число штрихов на единицу длины можно определить по формуле

$$N = \frac{1}{d} = \frac{1}{4,95 \cdot 10^{-6}} = 2,02 \cdot 10^5 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

3. Для определения числа максимумов, даваемых дифракционной решеткой, достаточно определить максимальное значение порядка дифракционного максимума k_{\max} :

$$k_{\max} = \frac{d \cdot \sin \varphi_{\max}}{\lambda} = \frac{4,95 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 9,9.$$

Число k обязательно должно быть целым, в то же время оно не может быть равным 10, так как при этом значении $\sin \varphi$ должен быть больше единицы, что невозможно. Следовательно, $k_{\max} = 9$.

Общее число максимумов, даваемых такой дифракционной решеткой, с учетом центрального нулевого максимума будет равно

$$n = 2k_{max} + 1 = 19.$$

Ответ: а) $d = 4,95 \cdot 10^{-6}$ м, б) $N = 2,02 \cdot 10^5$ м⁻¹, в) $n = 19$.

ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Сформулируйте принцип Гюйгенса–Френеля.
2. В чём состоит явление дифракции света? Как можно его объяснить с помощью принципа Гюйгенса–Френеля?
3. Объясните метод построения зон Френеля.
4. Имеется круглое отверстие в непрозрачной преграде, на которую падает монохроматическая световая волна от удаленного точечного источника. За отверстием расположен экран. Что будет происходить с интенсивностью в центре наблюдаемой на экране дифракционной картины, если экран удалять от преграды?
5. Свет от удаленного монохроматического точечного источника падает на круглый небольшой непрозрачный диск или шарик. На расстоянии Z от него находится экран. Расстояние Z велико по сравнению с диаметром диска или шарика, так что последний закрывает лишь несколько зон Френеля. При этом в центре геометрической тени, полученной на экране, наблюдается светлое пятно. Объясните явление.
6. Какова интенсивность света I на экране, если диафрагма, поставленная между источником и экраном, закрывает все зоны Френеля, кроме первой? Интенсивность света на экране в той же точке при отсутствии диафрагмы равна I_0 .
7. В чём разница между дифракцией Френеля и дифракцией Фраунгофера?

8. Объясните условие дифракционных минимумов при дифракции Фраунгофера от узкой щели.

9. Как определить угловую ширину центрального дифракционного максимума при дифракции Фраунгофера от узкой щели?

10. Какой количественный критерий определяют возможность дифракции Френеля, дифракции Фраунгофера или приближения геометрической оптики при прохождении света через преграду. Выразить это условие через размеры преграды b длину волны λ и расстояние от преграды до места наблюдения l .

11. В спектре, полученном с помощью дифракционной решетки, спектральную линию наблюдают в первом порядке под углом φ_1 . Определить наивысший порядок спектра, в котором можно наблюдать эту линию с помощью той же дифракционной решетки, если свет падает на решетку нормально к ее поверхности.

12. Что понимают под угловой и линейной дисперсией дифракционной решётки? От чего они зависят?

13. Что понимают под разрешающей силой дифракционной решётки? От чего она зависит?

14. Чем будут отличаться дифракционные картины, полученные от дифракционных решёток с одинаковой разрешающей силой, но разной дисперсией?

15. Чем будут отличаться дифракционные картины, полученные от дифракционных решёток с одинаковой дисперсией, но разной разрешающей силой?

ЗАДАЧИ

Дифракция Френеля от простейших преград

124. Свет от монохроматического источника с длиной волны, равной 600 нм, падает нормально на диафрагму с диаметром отверстия 6,0 мм. За диафрагмой на расстоянии 3,0 м от нее находится экран. Какое число зон Френеля укладывается в

отверстии диафрагмы? Что будет наблюдаться в центре дифракционной картины на экране – минимум или максимум?

Ответ: 5; максимум.

125. Посередине между экраном и монохроматическим источником света с длиной волны, равной 500 нм, находится круглый непрозрачный диск радиусом 0,50 мм. Каково должно быть расстояние между источником света и экраном для того, чтобы диск закрыл первые две зоны Френеля?

Ответ: 1,0 м.

126. Найти радиусы первых пяти зон Френеля для плоской волны, если расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения 1,0 м. Длина волны света равна 500 нм.

Ответ: 0,71 мм; 1,0 мм; 1,2 мм; 1,4 мм; 1,6 мм.

127. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии L от точечного источника монохроматического света с длиной волны, равной 600 нм. На расстоянии $0,5L$ от источника помещена круглая непрозрачная преграда диаметром 1,0 см. Найти расстояние L , если преграда закрывает только центральную зону Френеля.

Ответ: 0,17 км.

128. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии 4,0 м от точечного источника монохроматического света с длиной волны, равной 500 нм. Посередине между экраном и источником света помещена диафрагма с круглым отверстием. При каком радиусе отверстия центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным?

Ответ: 1,0 мм.

129. На непрозрачную преграду с отверстием радиуса 1,00 мм падает плоская монохроматическая световая волна. Когда расстояние от преграды до установленного за ней экрана равно 0,575 м, в центре дифракционной картины наблюдается максимум интенсивности. При увеличении этого расстояния до

значения $0,862 \text{ м}$ максимум интенсивности сменяется на минимум. Определите длину волны света.

Ответ: 580 нм .

130. На пути плоской световой волны с длиной волны, равной 650 нм , поставили диафрагму с круглым отверстием и на расстоянии 85 см от нее – экран. При каком минимальном значении радиуса отверстия центр дифракционной картины на экране имеет минимальную освещенность?

Ответ: $1,0 \text{ мм}$.

131. Плоская монохроматическая световая волна падает нормально на круглое отверстие. На расстоянии, равном $9,0 \text{ м}$ от него находится экран, где наблюдают некоторую дифракционную картину. Диаметр отверстия уменьшили в $3,0$ раза. Найти новое расстояние, на котором надо поместить экран, чтобы получить на нем дифракционную картину, подобную той, что наблюдалась в предыдущем случае.

Ответ: $1,0 \text{ м}$.

132. Точечный источник монохроматического света расположен перед зонной пластинкой на расстоянии $1,5 \text{ м}$ от нее. Изображение источника образуется на расстоянии 10 м от пластинки. Найдите фокусное расстояние зонной пластинки.

Ответ: $0,6 \text{ м}$.

133. Дифракционная картина наблюдается на некотором расстоянии L от точечного источника монохроматического света с длиной волны, равной 700 нм . На расстоянии $0,40L$ от источника помещена круглая непрозрачная преграда диаметром $2,0 \text{ мм}$. Чему равно расстояние L , если преграда закрывает только центральную зону Френеля?

Ответ: $6,0 \text{ м}$.

134. Точечный источник света с длиной волны, равной $0,50 \text{ мкм}$, расположен на расстоянии $1,0 \text{ м}$ перед диафрагмой с круглым отверстием радиусом $1,0 \text{ мм}$. Найти расстояние от

диафрагмы до точки наблюдения, для которой число открытых отверстий зон Френеля равно трём.

Ответ: 2,0 м.

135. Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус которого r можно менять в процессе опыта. Расстояние от диафрагмы до источника и экрана равны 1,0 м и 1,2 м соответственно. Определите длину световой волны, если максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается при $r_1 = 1,0$ мм и следующий максимум при $r_2 = 1,3$ мм.

Ответ: 0,63 мкм.

136. Плоская монохроматическая световая волна с интенсивностью I_0 падает нормально на непрозрачный экран с круглым отверстием. Какова интенсивность света за экраном в точке, для которой отверстие открывает: а) первую зону Френеля; б) внутреннюю половину первой зоны Френеля; в) половину внутренней и внешней половины первой зоны Френеля (половина действия первой зоны Френеля).

Ответ: а) $4I_0$; б) $2I_0$; в) I_0 .

137. Зонная пластинка дает изображение источника, удаленного от нее на расстояние 3,0 м, на расстоянии 2,0 м от своей поверхности. Где получится изображение источника, если его отодвинуть в бесконечность?

Ответ: 1,2 м.

Дифракция Фраунгофера от щели

138. На щель шириной 20 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны, равной 500 нм. Найти ширину изображения щели на экране, удаленном от щели на расстояние 1,0 м. Шириной изображения считать

расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещенности.

Ответ: 5,0 см.

139. На щель шириной $b\lambda$ падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны, равной λ . Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный минимум интенсивности света?

Ответ: 30° .

140. Свет с длиной волны, равной 630 нм, нормально падает на длинную щель шириной 15 мкм. Найти угол между двумя первыми минимумами, расположенными по обе стороны от центрального максимума.

Ответ: $4,8^\circ$.

141. На узкую щель падает нормально монохроматическое излучение с длиной волны, равной 550 нм. Угол дифракции, соответствующий второму дифракционному максимуму, равен 30° . Определить ширину щели.

Ответ: 2,8 мкм.

142. На пути плоской световой волны с длиной λ помещена непрозрачная плоскость, в которой имеется очень длинная щель шириной b . За преградой на расстоянии l от нее поставлен экран. Определить число зон Френеля, открытых щелью, для точки наблюдения, расположенной на экране напротив: а) середины щели, б) края щели.

Ответ: а) $\frac{b^2}{4\lambda l}$; б) $\frac{b^2}{\lambda l}$.

143. На узкую длинную щель шириной 15 мкм падает нормально монохроматический свет с длиной волны, равной 0,62 мкм. Определите наибольший порядок теоретически возможного дифракционного минимума.

Ответ: 24.

144. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения световых лучей, соответствующих второму дифракционному максимуму, равен $3,2^\circ$. Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

Ответ: 45.

145. На узкую длинную щель шириной 22 мкм падает нормально монохроматический свет с длиной волны, равной 0,74 мкм. Определите наибольший порядок теоретически возможного дифракционного максимума.

Ответ: 29.

146. На длинную щель шириной 0,14 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 0,56 мкм. Экран, на котором наблюдается дифракционная картина, расположен параллельно щели на расстоянии, равном 0,75 м. Определить расстояние между первыми дифракционными максимумами, расположенными по обе стороны от центрального френгоферова максимума.

Ответ: 9,0 мм.

147. На длинную щель шириной 0,17 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны, равной 0,48 мкм. За щелью помещена собирающая линза с оптической силой 0,50 дптр, в фокальной плоскости которой находится экран. Определите ширину первого (нецентрального) дифракционного максимума.

Ответ: 5,6 мм.

148. Плоская световая волна, состоящая из двух монохроматических компонент, падает на непрозрачную плоскую преграду, в которой имеется длинная щель шириной 0,25 мм. За преградой расположен экран. Волновые поверхности, преграда и экран параллельны друг другу. Расстояние между преградой и экраном составляет 1,0 м. Длины волны в падающем свете 0,42 и 0,76 мкм. Определите расстояние между серединами вторых дифракционных максимумов.

Ответ: 3,4 мм.

Дифракционная решетка

149. От натриевой лампы на дифракционную решетку нормально падает пучок света с длиной волны, равной 590 нм. Это излучение дает в спектре первого порядка максимум под углом 17° . Некоторая линия другой газоразрядной лампы дает в спектре второго порядка максимум под углом 24° . Найти длину волн этой линии и число штрихов на единицу длины решетки.

Ответ: 410 нм; 500 мм^{-1} .

150. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от газоразрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия с длиной волны, равной 0,67 мкм в спектре второго порядка?

Ответ: 0,45 мкм.

151. Найти наибольший порядок дифракционного максимума для желтой линии натрия с длиной волны, равной 590 нм, если период дифракционной решетки имеет величину 2,0 мкм.

Ответ: 3.

152. На дифракционную решетку нормально падает пучок монохроматического света. Максимум третьего порядка наблюдается под углом, равным 36° к нормали. Найти период этой решетки, выраженный в длинах волн падающего света.

Ответ: $5,0 \cdot \lambda$.

153. Каким должен быть период дифракционной решетки, чтобы в первом порядке был разрешен дублет натрия с длинами волн 589 и 590 нм? Длина решетки равна 2,50 см.

Ответ: 25,4 мкм.

154. На дифракционную решетку с периодом, равным 5,0 мкм падает под углом 30° монохроматический свет с длиной волны

600 нм. Определите углы, под которыми наблюдаются максимумы второго порядка.

Ответ: 15° ; 48° .

155. Угловая дисперсия дифракционной решетки для монохроматического излучения с длиной волны, равной 670 нм в спектре первого порядка имеет величину $2,0 \cdot 10^5$ рад/м. Найдите период дифракционной решетки.

Ответ: 5,0 мкм.

156. На дифракционную решетку падает нормально пучок света от разрядной трубки. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если в направлении угла дифракции 42° совпадают максимумы двух линий с длинами волн 651 и 465 нм?

Ответ: 4,9 мкм.

157. На каком расстоянии друг от друга на экране расположены две спектральные линии с длинами волн 580 и 590 нм в спектре первого порядка, полученном при помощи дифракционной решетки с периодом, равным 5,0 мкм? Фокусное расстояние линзы, проецирующей свет на экран, имеет величину 1,0 м.

Ответ: 2,0 мм.

158. Нормально к поверхности дифракционной решетки падает монохроматический свет. Период дифракционной решетки в 12 раз больше длины волны света. Найти общее число дифракционных максимумов, которое теоретически можно наблюдать в этом случае.

Ответ: 25.

159. При нормальном падении света на дифракционную решетку угол дифракции для излучения с длиной волны 650 нм в спектре второго порядка равен 45° . Найти угол дифракции для излучения с длиной волны 400 нм в спектре третьего порядка.

Ответ: 41° .

160. Какое наименьшее число штрихов должна иметь дифракционная решетка, чтобы в спектре первого порядка наблюдались раздельно линии жёлтого дублета натрия с длинами волн, равными 589,6 и 589,0 нм?

Ответ: 983.

161. Узкий пучок рентгеновских лучей падает под углом скольжения 60° на грань монокристалла, расстояние между атомными плоскостями которого равно 48 пм. При зеркальном отражении от этой грани образуется максимум первого порядка. Найти длину волны рентгеновских лучей.

Ответ: 83 пм.

162. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновских лучей с длиной волны, равной 0,15 нм. Определите расстояние между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда лучи падают под углом 35° к поверхности кристалла.

Ответ: 0,22 нм.

163. Свет с длиной волны, равной 535 нм падает нормально на дифракционную решетку. Найти ее период, если одному из главных максимумов соответствует угол дифракции 35° , а наибольший порядок наблюдаемого дифракционного спектра равен пяти.

Ответ: 2,8 мкм.

164. Определите длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку с периодом, равным 2,2 мкм, если угол между направлениями на главные максимумы первого и второго порядков имеет величину 15° .

Ответ: 0,53 мкм.

165. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает параллельный пучок лучей с длиной волны, равной 500 нм. Помещённая вблизи решетки линза проецирует дифракционную картину на плоский экран, удаленный от линзы

на расстояние 1,0 м. Расстояние между двумя максимумами первого порядка, наблюдаемыми на экране, равно 20 см. Определите, сколько максимумов даёт данная дифракционная решетка и максимальный угол отклонения лучей, соответствующих дифракционным максимумам.

Ответ: 19; 56° .

166. Дифракционная решетка имеет период, равный 1,5 мкм. Найти угловую дисперсию, соответствующую максимуму наибольшего порядка для спектральной линии с длиной волны 530 нм, если свет нормально падает на решетку.

Ответ: $0,11 \text{ нм}^{-1}$.

167. Свет с длиной волны, равной 590 нм, падает нормально на дифракционную решетку с периодом величиной 2,5 мкм, содержащую $1,0 \cdot 10^4$ штрихов. Найти угловую ширину дифракционного максимума второго порядка.

Ответ: $11''$.

168. В спектрографе установлена дифракционная решетка, период которой имеет величину 1,0 мкм, а длина рабочей части решётки равна 10,0 см. Фокусное расстояние объектива составляет 1,0 м. Определите длину видимой части спектра, получающегося на фотопластинке, установленной в фокальной плоскости объектива.

Ответ: 0,73 м.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. Электромагнитные волны | 3 |
| 2. Преломление и отражение света | 12 |
| 3. Поляризация световых волн | 26 |
| 4. Интерференция света | 37 |
| 5. Дифракция света | 63 |

КОЛПАЧЕВ Алексей Борисович
АРЗУМАНЯН Грайр Вагаршакович
ГАВРИЛОВ Александр Максимович
ДОЦЕНКО Игорь Борисович
КОЛПАЧЕВА Ольга Валериевна

Сборник вопросов, задач и упражнений
по курсу физики
Волновая оптика

Редактор Л.В. Чиканенко
Корректор Л.В. Чиканенко
Компьютерная верстка Т.А. Кочергиной

Подписано в печать
Формат 60×84 ¹/₁₆ Усл. п.л. – 5,25. Уч.-изд. л. – 5,1.
Бумага офсетная. Тираж ... экз. Заказ №

Издательство Южного федерального университета
Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1. Тел. (863) 247-80-51