

Решение задач по теме «Оптика. Световые волны»



Не знающие пусть научатся, а
знающие вспомнят еще раз.

Античный афоризм



Дисперсия света — это зависимости показателя преломления вещества и скорости света в нем от частоты световой волны.

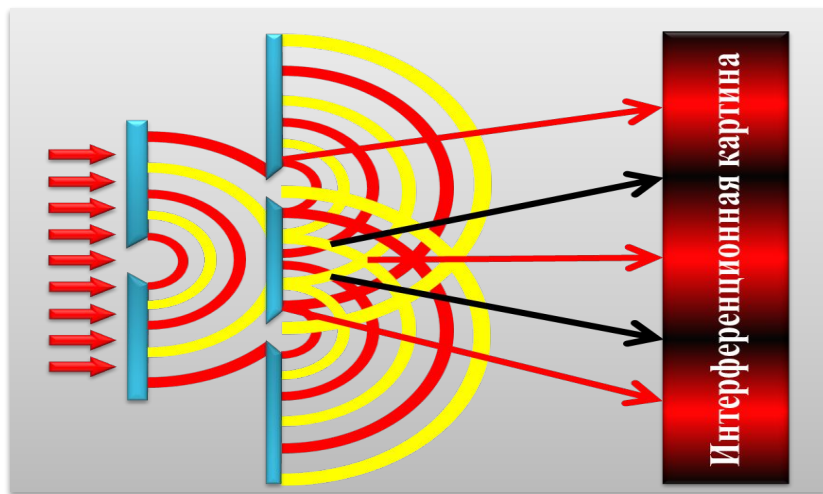
Интерференция света — это явление сложения двух и более когерентных волн, приводящее к образованию в пространстве устойчивой картины чередующихся максимумов и минимумов интенсивности света.

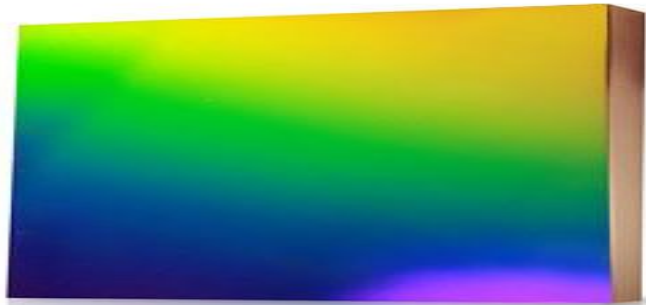
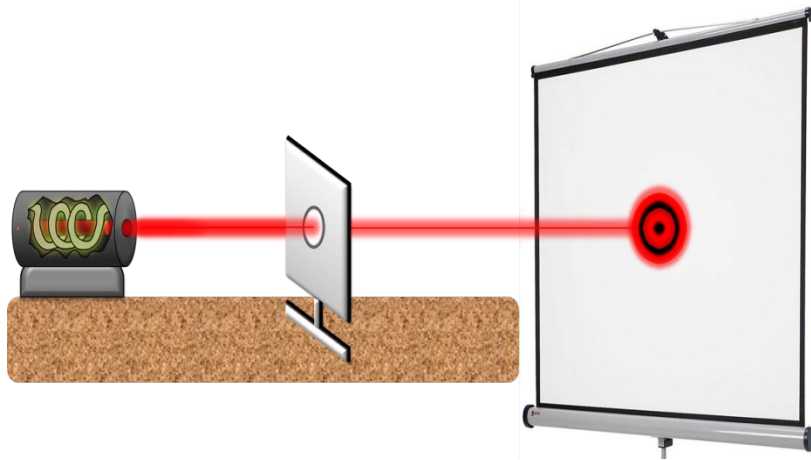
Условие максимумов:

$$\Delta r = m\lambda; \quad m = 0, 1, 2, 3 \dots$$

Условие минимумов:

$$\Delta r = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}; \quad m = 0, 1, 2, 3 \dots$$





Дифракцией света называется совокупность оптических явлений, обусловленных волновой природой света и наблюдающихся при его распространении в среде с резко выраженными неоднородностями.

Дифракционная решетка — это спектральный прибор, служащий для разложения света в спектр и измерения длины волны.

Формула дифракционной решетки

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

Задача 1. Найдите все длины волн видимого света, которые в результате интерференции при разности хода интерферирующих лучей 1,8 мкм, будут: 1) максимально усилены; 2) максимально ослаблены.

Дано:

$$\lambda_1 = 0,76 \text{ мкм}$$

$$\lambda_2 = 0,38 \text{ мкм}$$

$$\Delta r = 1,8 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{max} = ?$$

$$\lambda_{min} = ?$$

Решение:

Условие минимума интенсивности интерферирующих волн:

$$\Delta r = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}; \quad m = 0, 1, 2, 3 \dots \Rightarrow \lambda = \frac{2\Delta r}{2m + 1} = \frac{3,6}{2m + 1}$$

$$\lambda_{min1} = \frac{3,6}{2 \cdot 1 + 1} = 1,2 \text{ мкм} \quad \lambda_{min2} = \frac{3,6}{2 \cdot 2 + 1} = 0,72 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{min3} = \frac{3,6}{2 \cdot 3 + 1} = 0,51 \text{ мкм} \quad \lambda_{min4} = \frac{3,6}{2 \cdot 4 + 1} = 0,40 \text{ мкм}$$

$$\lambda_{min5} = \frac{3,6}{2 \cdot 5 + 1} = 0,33 \text{ мкм}$$

Задача 2. На толстую стеклянную пластину ($n_{ст} \equiv 1,5$), покрытую очень тонкой пленкой, абсолютный показатель преломления вещества которой равен $1,4$, падает нормально параллельный пучок монохроматического света $\lambda = 60,610^{-7} \text{ м}$. Определите толщину пленки, при которой отраженный свет максимально ослаблен вследствие интерференции.

Дано:

$$n_1 \approx 1$$

$$n_2 = 1,4$$

$$n_3 = 1,5$$

$$\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$h = ?$$

Решение:

$$\Delta r = DC = (AB + BC) \cdot n_2 - AD \cdot n_1$$

Условие минимума интенсивности:

$$(AB + BC) \cdot n_2 - AD \cdot n_1 =$$

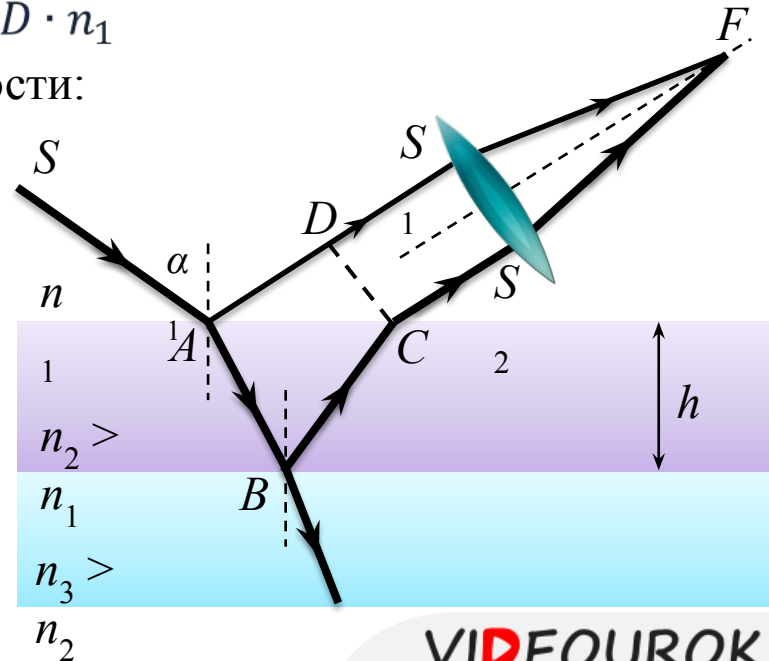
$$= (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

При $\alpha = 0$ геометрическая разность хода $AB + BC = 2h$.

$$\Delta r = 2hn_2 = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$h_0 = 0,11 \text{ мкм}; h_1 = 0,33 \text{ мкм} \dots$$

$$h = \frac{2m + 1}{4n_2} \lambda$$



Методические рекомендации для решения задач на интерференцию света:

1. Сделать соответствующий чертеж, указав на нем ход лучей.
2. Выяснить причины появления оптической разности хода между интерферирующими лучами.
3. Определить эту оптическую разность хода лучей.
4. Записать или, если необходимо, вывести условие максимума или минимума интерференции.
5. Решить полученное уравнение, произвести вычисления и оценить реальность полученного результата.

Задача 3. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает параллельный пучок лучей с длиной волны $\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Период дифракционной решетки составляет $d = 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Определите, сколько максимумов дает дифракционная решетка и максимальный угол отклонения лучей, соответствующих последнему дифракционному максимуму.

Дано:

$$\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$d = 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$m = ?$$

$$\varphi_m = ?$$

Решение:

Дифракционная решетка не может отклонить лучи больше, чем на 90° .

$$d \sin \varphi = m\lambda \Rightarrow d = m\lambda$$

$$m = \frac{d}{\lambda} \Rightarrow m = \frac{4,95 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-7}} = 9,9 \Rightarrow m = 9$$

Число m обязательно должно быть целым, но оно не может быть равным 10, так как при этом значение $\sin \varphi > 1$.

$$\sin \varphi_m = \frac{m\lambda}{d} \Rightarrow \sin \varphi_m = \frac{9 \cdot 5,0 \cdot 10^{-7}}{4,95 \cdot 10^{-6}} \approx 0,9091 \Rightarrow \varphi_m \approx 65^\circ$$

Задача 4. Дифракционная решетка, имеющая $100 \cdot 10^5$ штрихов на 1 мм длины, помещена на расстоянии 2 м от экрана и освещается пучком лучей белого света. Определите ширину дифракционного спектра первого порядка, полученного на экране. Границы видимого спектра по длинам волн примите равными: для фиолетового света $\lambda_{\phi} = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, для красного $\lambda_{\text{кр}} = 6,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Дано:

$$N = 1,0 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$$

$$L = 2 \text{ м}$$

$$m = 1$$

$$\lambda_{\phi} = 4,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\lambda_{\text{кр}} = 6,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$\Delta x = ?$$

Решение:

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

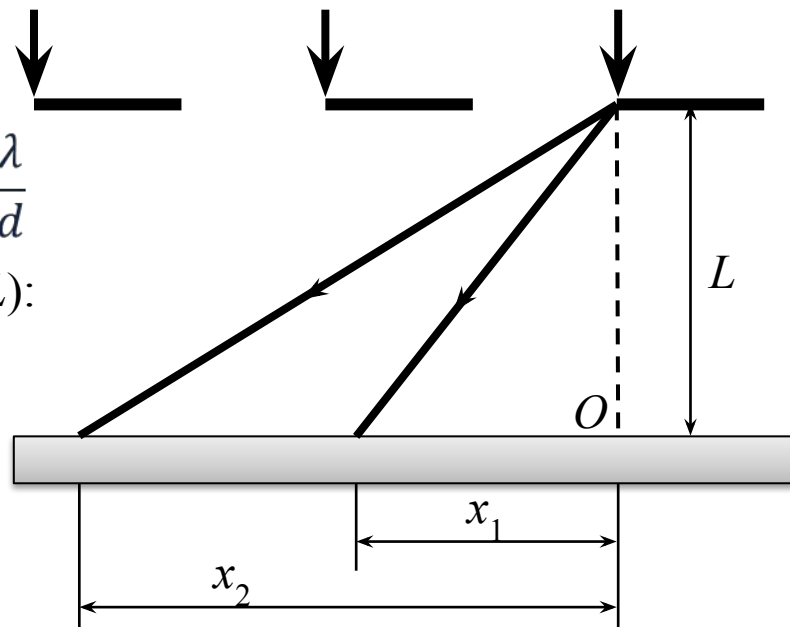
$$d \sin \varphi = m \lambda \Rightarrow \sin \varphi = \frac{\lambda}{d}$$

Так как угол φ мал ($x \ll L$):

$$\sin \varphi \approx \text{tg } \varphi = \frac{x}{L}$$

$$\text{Тогда: } x = \frac{\lambda L}{d} = \lambda L N$$

$$\Delta x = L N (\lambda_{\text{кр}} - \lambda_{\phi}) \Rightarrow \Delta x = 56 \text{ мм}$$



Методические рекомендации для решения задач на дифракцию света:

1. Сделать чертеж, указав на нем ход лучей.
2. Записать условие максимума или минимума дифракции на соответствующих объектах.
3. В случае необходимости воспользоваться недостающими уравнениями, привлекая дополнительные данные задачи.
4. Решить полученные уравнения и оценить реальность полученного результата.

Задача 5. Световая волна с длиной волны $\lambda_1 = 7,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ распространяется в воздухе. Какова длина этой волны в воде?

Дано:

$$\lambda_1 = 7,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$n = 1,33$$

$$\lambda_2 = ?$$

Решение:

Длины световых волн в воздухе и в воде связаны со скоростями распространения этих волн в воздухе и в воде следующим соотношением:

$$\lambda_1 = \frac{v_1}{\nu} \quad \text{и} \quad \lambda_2 = \frac{v_2}{\nu}$$

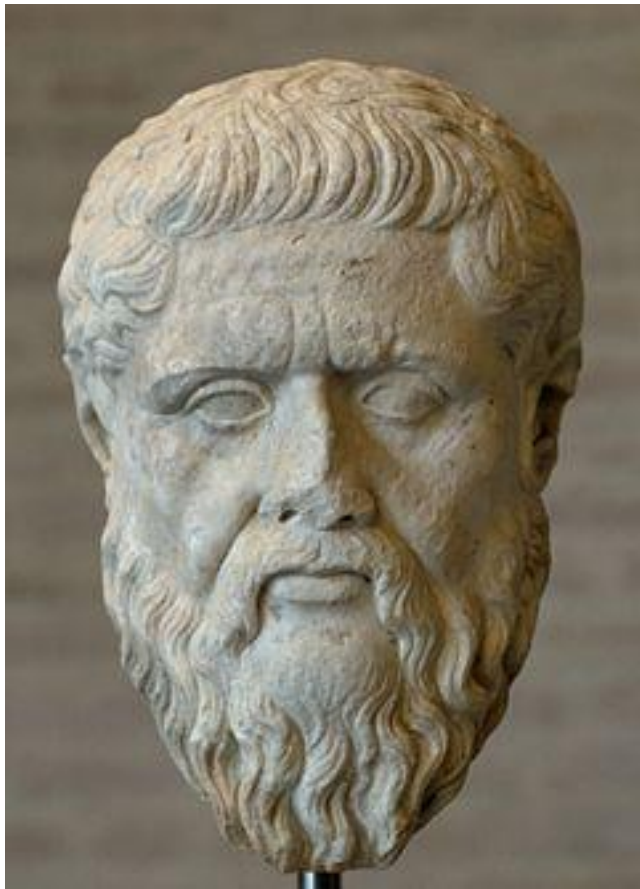
ν — частота световых колебаний.

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1 \nu}{v_2 \nu} = \frac{v_1}{v_2} \qquad \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{\lambda_1 n_1}{n_2} \Rightarrow \lambda_2 = 5,26 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 526 \text{ нм.}$$

Методические рекомендации для решения задач на дисперсию света:

1. Сделать чертеж, указав на нем ход соответствующих лучей.
2. Записать на основании законов преломления основные уравнения.
3. Записать, используя дополнительные условия, недостающие уравнения.
4. Решить полученные уравнения.



Протагор

Упражнение,
друзья, дает
больше, чем
хорошее
природное
дарование.