

Практичне заняття 3. Двопроменева інтерференція

П л а н :

Методи створення когерентних джерел світла:

- а) метод Юнга;
- б) біпризма Френеля;
- в) бідзеркала Френеля.

О с н о в н і ф о р м у л и :

Різниця ходу $\Delta = \frac{yd}{L}$ - формула Юнга:

якщо $\frac{yd}{L} = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$ - max освітлені, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$;

якщо $\frac{yd}{L} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ - min освітлені, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$;

кутова відстань до k -го мінімуму: $\alpha = \frac{y}{L} = k \frac{\lambda}{d}$.

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Скільки інтерференційних максимумів ми можемо спостерігати, освітлюючи установку Юнга білим світлом? (відстань між щілинами 1,5 мм, екран знаходиться на відстані 2 м). Граничні довжини хвиль $\lambda_{\text{чер}} = 690$ нм, $\lambda_{\text{ф}} = 420$ нм. Яка відстань на екрані між червоними і фіолетовими максимумами?

Аналіз та розв'язок:

Дано:

$$d = 1,5 \text{ мм}$$

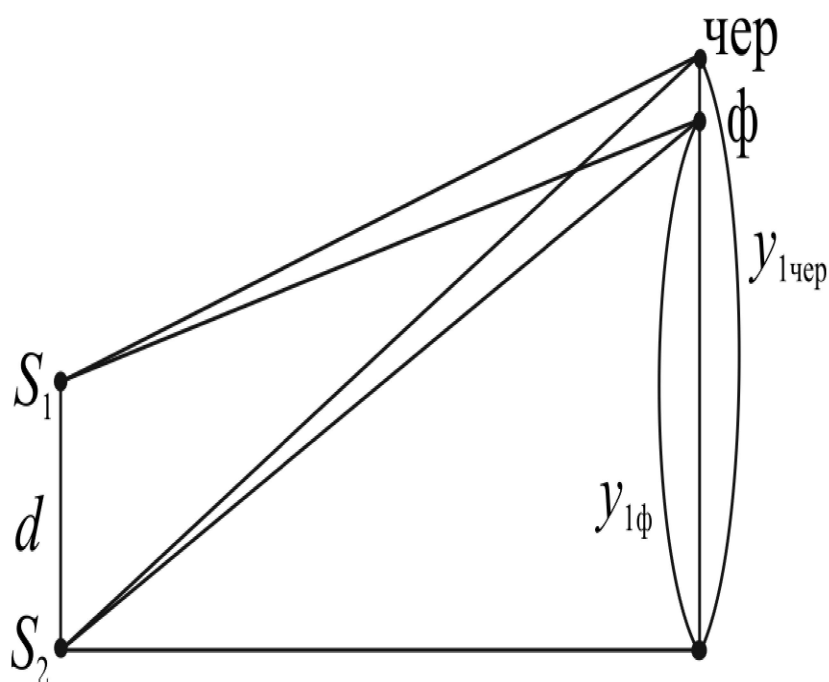
$$L_1 = 2 \text{ м}$$

$$\lambda_{\text{чер}} = 690 \text{ нм}$$

$$\lambda_{\text{ф}} = 420 \text{ нм}$$

$$k = ?$$

$$(y_{\text{чер}} - y_{\text{ф}}) = ?$$



Інтерференційна картина зміниться, якщо червоний максимум порядку K найде на фіолетовий максимум наступного порядку: $K_{\text{чер}} = (K + 1)_{\text{ф}}$.

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$k\lambda_{\text{чер}} = (K + 1)\lambda_{\text{ф}}, \text{ звідки } k = \frac{\lambda_{\text{ф}}}{\lambda_{\text{чер}} - \lambda_{\text{ф}}}, \text{ тобто } k = 1,6 < 2.$$

Це буде означати, що чітко будуть спостерігатися нульовий і перші максимуми, а також перші і другі мінімуми (чорні смуги). Другий максимум буде розмитий, третій і наступні – зовсім не видно. Нульовий максимум буде білий, перший буде райдужною смужкою, повернутою фіолетовим кінцем всередину.

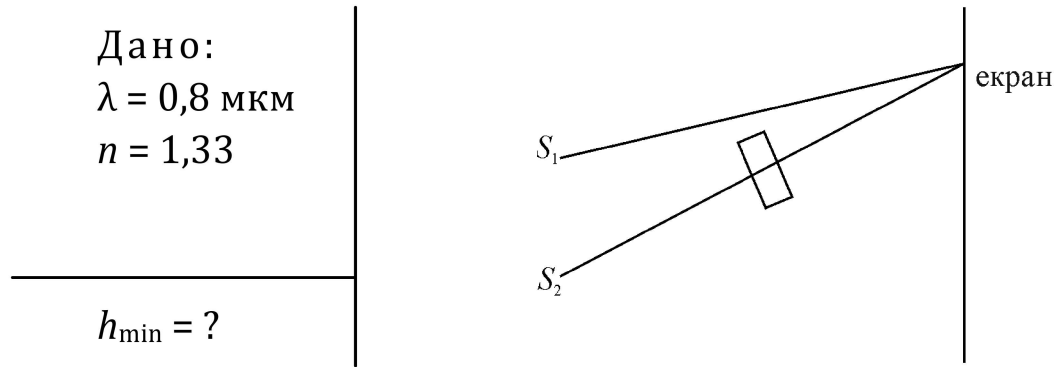
Відстань на екрані між червоною і фіолетовою смугами знайдемо з формули Юнга:

$$\begin{aligned} \frac{yd}{L} &= \lambda; \quad y_{1\text{ф}} = \frac{L \cdot \lambda_{\text{ф}}}{d}; \quad y_{1\text{чер}} = \frac{L \cdot \lambda_{\text{чер}}}{d}; \\ y_{1\text{чер}} - y_{1\text{ф}} &= \frac{L \cdot \lambda_{\text{чер}}}{d} - \frac{L \cdot \lambda_{\text{ф}}}{d} = \frac{L}{d} (\lambda_{\text{чер}} - \lambda_{\text{ф}}) = \\ &= \frac{2}{0,0015} (690 \cdot 10^{-9} - 420 \cdot 10^{-9}) = 0,00034 \text{ м} = 0,34 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Відповідь: 0,34 мм.

Як бачимо, відстань між червоними і фіолетовими максимумами, тобто ширина смуги, дуже мала, тому потрібно, щоб $L \gg d$.

Задача 2. Промені від двох когерентних джерел світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,8$ мкм падають на екран, де спостерігається інтерференційна картина. Коли на шляху одного з променів перпендикулярно до нього помістити мильну плівку з показником заломлення 1,33, інтерференційна картина зміниться на протилежну. За якої найменшої товщини плівки це можливо?



Аналіз та розв'язок: Зміна інтерференційної картини на протилежну означає, що на тих ділянках екрана, де спостерігалися інтерференційні максимуми, стали спостерігатися інтерференційні мінімуми. Таке зміщення інтерференційної картини можливе в разі зміни оптичної різниці ходу світлових хвиль на непарну кількість половин довжин хвиль:

$$\Delta_2 - \Delta_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

де Δ_1, Δ_2 – оптична різниця ходу світлових хвиль, відповідно, після та до внесення плівки; $k = 0, 1, 2, \dots$ Найменшій товщині d_{\min} плівки відповідає $k = 0$, тому

$$\Delta_2 - \Delta_1 = \frac{\lambda}{2}.$$

Виразимо оптичні різниці ходу Δ_1, Δ_2 :

$$\Delta_1 = l_1 - l_2,$$

$$\Delta_2 = [(l_1 - h_{\min}) + nh_{\min}] - l_2 = (l_1 - l_2) + h_{\min} (n - 1).$$

Тоді $\Delta_2 - \Delta_1 = (l_1 - l_2) + h_{\min} (n - 1) - (l_1 - l_2) = \frac{\lambda}{2}$, або

$$h_{\min} (n - 1) = \frac{\lambda}{2}.$$

Звідси $h_{\min} = \frac{\lambda}{2(n - 1)}$.

Виконуємо обчислення

$$h_{\min} = \frac{0,8}{2(1,33-1)} = 1,21 \text{ мкм.}$$

Відповідь: $h_{\min} = 1,21 \text{ мкм.}$

Задача 3. Визначити кут φ між дзеркалами Френеля, коли відстань Δy між смугами інтерференції на екрані дорівнює 1 мм, $L = 1 \text{ м}$, $r = 10 \text{ см}$, $\lambda = 4861 \text{ \AA}$. Інтерферуючі промені падають на екран приблизно перпендикулярно.

Аналіз та розв'язок:

Дано:

$$\Delta y = 1 \text{ мм} = 0,1 \text{ см}$$

$$L = 1 \text{ м} = 100 \text{ см}$$

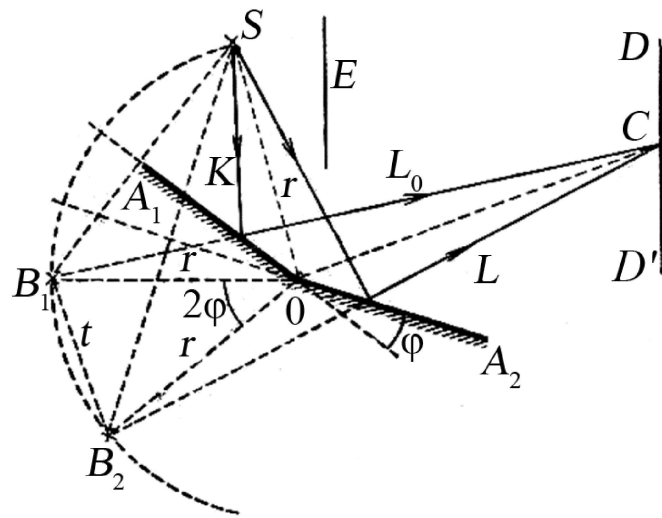
$$r = 10 \text{ см}$$

$$\lambda = 4861 \text{ \AA} =$$

$$= 4861 \cdot 10^{-8} \text{ см}$$

$$\varphi = ?$$

Успіхи розв'язування задач залежать від грамотно побудованого рисунка.



З геометричної оптики ми знаємо, що коли дзеркало повернути на кут φ , то зображення повернеться на кут 2φ , тобто $\angle S_1OS_2 = 2\varphi$, φ – мало, тому $d = 2\varphi \cdot r$.

$$\Delta y = \frac{\lambda(a+x)}{d} \quad (\text{див. формулу Юнга, } L = a+x).$$

Знайдемо Δy :

$$y_{k+1} - y_k = \Delta y, \quad \frac{y_k \cdot d}{L} = k\lambda. \quad (1)$$

$$\frac{y_{k+1} \cdot d}{L} = (k+1)\lambda. \quad (2)$$

Віднімемо з другого рівняння (2) перше (1):

$$\Delta y = y_{k+1} - y_k = \frac{\lambda \cdot L}{d}, \text{ підставимо } L, \text{ тоді } \Delta y = \frac{\lambda(a+r)}{d} = \frac{\lambda \cdot L}{2\varphi \cdot r},$$

знайдемо φ :

$$\varphi = \frac{\lambda(a+r)}{2r \cdot \Delta y} = \frac{4861 \cdot 10^{-8} \cdot 110}{2 \cdot 10 \cdot 0,1} = 0,00267355 \text{ радіан.}$$

Переведемо радіани в градуси, для цього $(0,00267355 \cdot 57,3)^\circ$. Переведемо градуси в мінути, отримаємо $\approx 9'10''$.

Відповідь: $\varphi \approx 9'10''$.

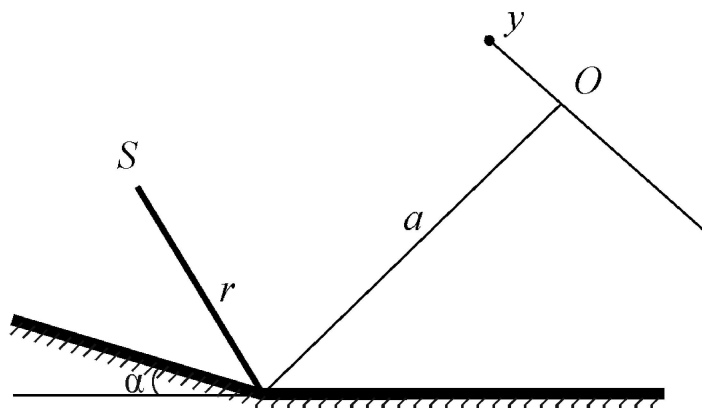
Аналіз. Дійсно, кут між дзеркалами в системі бідзеркал дуже малий, про що нам відомо з теорії.

Задачі для самостійного розв'язування та домашнього завдання

1. Знайти довжину хвилі монохроматичного випромінювання, якщо в установці Юнга відстань від першого інтерференційного максимуму до центральної лінії $y = 0,05$ см. Дані установки $L = 5$ м, $d = 0,5$ см.
2. Відстань між двома когерентними джерелами світла ($\lambda = 0,5$ мкм) дорівнює $0,1$ мм. Відстань між двома сусідніми світлими лініями на екрані становить 1 см. Яка відстань між джерелами та екраном?
3. На шляху одного променя в інтерференційній установці Юнга стоїть посудина довжиною 2 см, з плоскопаралельними скляними стінками, і спостерігається інтерференційна картина, коли ця посудина наповнена повітрям. Потім посудину наповнюємо хлором і при цьому спостерігається зміщення інтерференційної картини на 20 ліній. Вся установка поміщена в термостат, що підтримує постійну температуру. Спостереження відбуваються зі світлом лінії D натрію ($\lambda = 5890 \text{ \AA}$). Приймаючи показник заломлення повітря $n = 1,000276$, обчислити показник заломлення

хлору. В який бік змістяться лінії інтерференції при наповненні посудини хлором?

4. Визначити відстань y між центром картини і п'ятою світлою смугою в установці Френеля, коли $\alpha = 20'$, $r = 10$ см, $a = 1$ м, для $\lambda = 5890$ Å. Інтерферуючі промені падають на екран приблизно перпендикулярно.



5. Виразити відстань y від центру інтерференційної картини до k -тої світлої смуги в досліді з біпризмою Френеля. Показник заломлення призми n , довжина хвилі λ , заломлюючий кут α . Інтерферуючі промені падають на екран приблизно перпендикулярно.
6. У скільки разів збільшиться відстань між сусідніми інтерференційними смугами на екрані в досліді Юнга, коли зелений світлофільтр $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$ см замінити на червоний $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-5}$ см?
7. В досліді з дзеркалами Френеля відстань між уявними зображеннями джерела світла дорівнює 0,5 мм, відстань до екрана 5 м. В зеленому світлі одержимо інтерференційні смуги на відстані 5 мм одна від одної. Знайти довжину хвилі зеленого світла.
8. В досліді Юнга на шляху одного з променів розміщено тонку скляну пластинку, від чого центральна світла смуга зміститься в положення, спочатку зайняте п'ятою світлою смугою. Промінь падає на пластинку перпендикулярно. Показник заломлення пластинки 1,5. Довжина хвилі $6 \cdot 10^{-7}$ м. Яка товщина пластинки?
9. На шляху одного з променів у досліді Юнга поставили трубку з плоскопаралельними скляними стінками і заповнили її хлором, показник заломлення якого дорівнює 1,000865. При цьому вся інтерференційна картина змістилась на 20 смуг. Визначити довжину трубки, якщо показник заломлення повітря дорівнює 1,000276, а довжина хвилі світла 589 нм.