

## Практичне заняття 13. Поляризація світла

План:

1. Побудова хвильових поверхонь Гюйгенса та ходу променів, звичайного та незвичайного.
2. Обертання площини поляризації.
3. Інтерференція поляризованих променів.

Основні формули та співвідношення:

- 1) Коли  $n_0 \geq n_e$ , тобто  $v_0 \leq v_e$ , – кристал від'ємний. Коли  $n_0 \leq n_e$ , тобто  $v_0 \geq v_e$ , – кристал додатній (рис. 1, 2).
- 2)  $\varphi = k \cdot l$ , де  $\varphi$  – кут повороту площини поляризації,  $k$  – коефіцієнт пропорційності, який залежить від властивостей речовини;  $k$  – це питоме обертання, кут, на який повертається площина поляризації при проходженні променем товщі кристалу в 1 мм,  $k = k(\lambda)$ , тобто залежить від довжини хвилі поляризованого світла.
- 3)  $\varphi = k \cdot l \cdot \mu$  – закон Біо, де  $\varphi$  – кут повороту площини поляризації,  $k$  – коефіцієнт, який залежить від роду взятої речовини та від довжини хвилі,  $l$  – довжина шляху променя в рідині,  $\mu$  – концентрація речовини.
- 4)  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \varphi = \sin^2 \varphi$  – рівняння еліпса, який одержується при інтерференції двох променів, поляризованих у взаємно перпендикулярних площинах. Це еліптична поляризація. В загальному випадку одержується еліпс, довільно орієнтований відносно осей  $x$  та  $y$ ;  $\varphi$  – різниця фаз коливань,  $a$  і  $b$  – амплітуди коливань звичайного і незвичайного променів.

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Побудувати за Гюйгенсом напрямки заломлених хвиль в одновісному кристалі, додатному та від'ємному для випадку, коли оптична вісь лежить у площині падіння, паралельно поверхні кристала. Промені падають на кристал нормально.

Аналіз та побудова. Нарисуємо хвильові поверхні для додатного та від'ємного кристалів. Для додатного кристала  $n_e \geq n_0$ ,  $v_e \leq v_0$ . Хвильова поверхня звичайного променя – сфе-

рична поверхня, тому що  $v_0$  не залежить від напрямку поширення в кристалі, а хвильова поверхня незвичайного променя – еліпсоїд обертання. Тобто хвильові поверхні додатного променя будуть виглядати як на рис. 1, від'ємного – як на рис. 2.

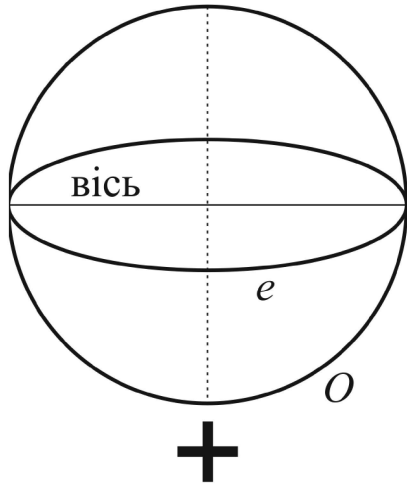


Рис. 1

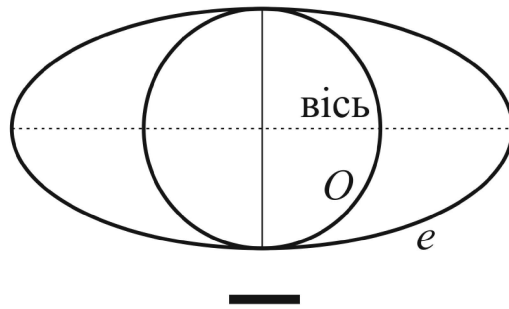


Рис. 2

Нарисуємо поверхню поділу повітря – кристал у першому та другому випадках.

Вісь позначена пунктиром. Нарисуємо ті частини поверхонь, які знаходяться в кристалі, проведемо огинаючі цих поверхонь і продовжимо промені до точок дотикання. Це і будуть промені, що поширюються в кристалах: додатній (рис. 3) і від'ємний (рис. 4). Як бачимо, в цьому випадку промені поширю-

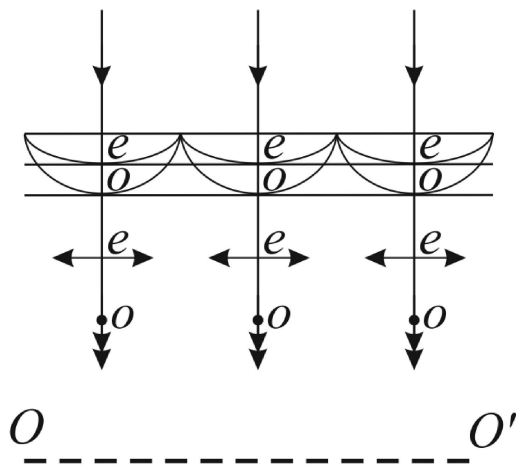


Рис. 3

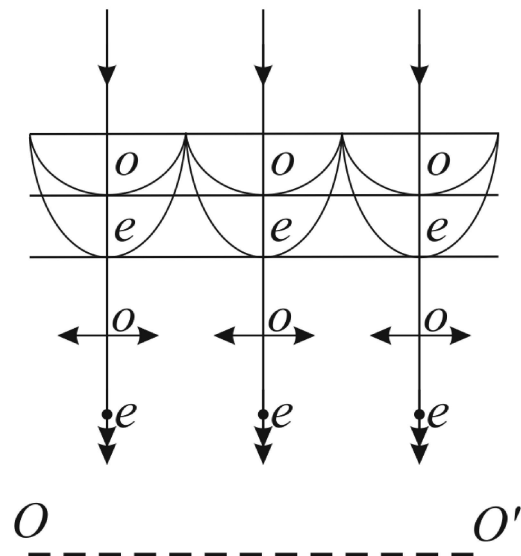


Рис. 4

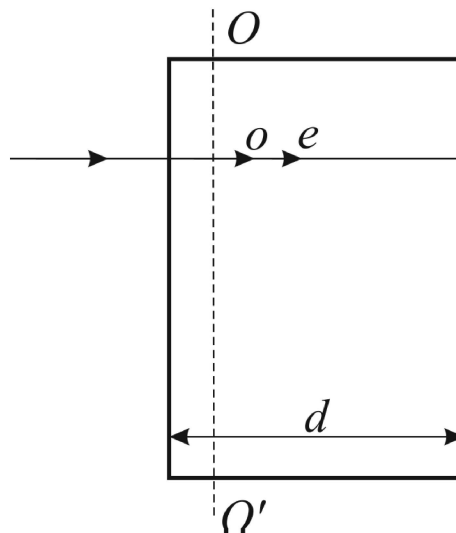
ються в одному напрямку, але в додатному кристалі звичайний промінь випереджує незвичайний, а у від'ємному – навпаки. Площини коливань у першому і другому випадках також змінилися.

**Задача 2.** Паралельний пучок світла падає нормально на пластинку ісландського шпату, що вирізана паралельно оптичній вісі. Визначити різницю ходу звичайного та незвичайного променів, які пройшли крізь пластинку. Товщина пластинки 0,03 мм.  $n_o = 1,658$ ;  $n_e = 1,486$ .

Аналіз та розв'язок:

Дано:  
 $d = 0,03$  мм  
 $n_o = 1,658$   
 $n_e = 1,486$

$\Delta = ?$



Із умови задачі видно, що кристал ісландського шпату відноситься до від'ємних кристалів, оскільки  $n_o > n_e$ . Із попередньої задачі видно, що в такому випадку, як ми маємо в цій задачі, промені в кристалі не розщеплюються, але незвичайний промінь має більшу швидкість і випереджає звичайний. Оптична різниця ходу буде дорівнювати  $\Delta = d (n_o - n_e)$ ;  $\Delta = 0,03 \cdot (1,658 - 1,486) = 0,00516$  мм = 5160 нм.

Відповідь:  $\Delta = 5160$  нм.

**Задача 3.** В кювету цукрометра налито 5%-й розчин цукру, який повертає площину поляризації на  $\varphi_1 = 4,5^\circ$ . Визначити концентрацію такого розчину цукру, який повертає площину поляризації на  $\varphi_2 = 9^\circ$ .

Аналіз та розв'язок:

Дано:  
 $\mu_1 = 5\%$   
 $\varphi_1 = 4,5^\circ$   
 $\varphi_2 = 9^\circ$

$\mu_2 = ?$

За законом Біо,  $\varphi = k \cdot l \cdot \mu$ , де  $k$  – коефіцієнт, який залежить від властивостей речовини та від довжини хвилі,  $l$  – довжина шляху променя в розчині цукру,  $\mu$  – концентрація цукру. Тобто  $\varphi_1 = k \cdot l_1 \cdot \mu_1$ ,  $\varphi_2 = k \cdot l_2 \cdot \mu_2$ . Якщо розчин цукру наливають в одну і ту ж кювету, то  $l_1 = l_2$ . Поділимо вирази, одержимо:

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{k l \mu_1}{k l \mu_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}, \text{ тобто } \mu_2 = \frac{\varphi_2 \cdot \mu_1}{\varphi_1} = \frac{9 \cdot 5}{4,5} = 10\%.$$

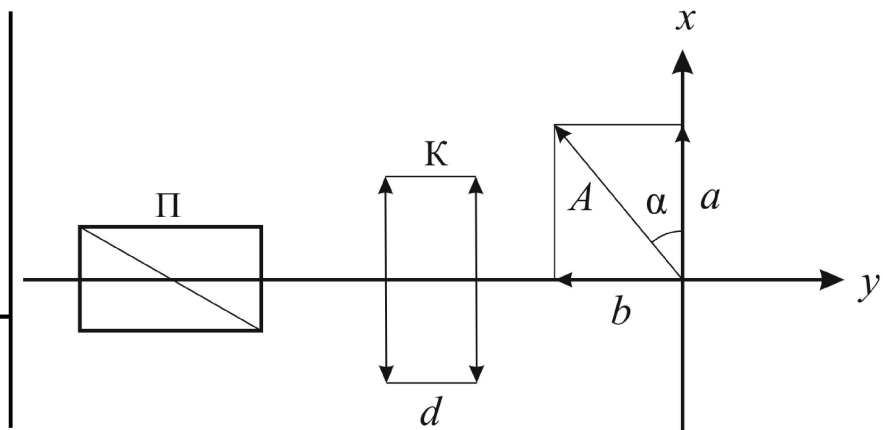
Відповідь:  $\mu_2 = 10\%$ .

**Задача 4.** Знайти найменшу товщину  $d$  пластинки кварцу, яка вирізана паралельно оптичній вісі, щоб падаюче плоскополяризоване світло виходило поляризованим по колу.

Аналіз та розв'язок:

Дано:  
 $n_e = 1,5533$   
 $n_o = 1,5442$   
 $\lambda = 5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$

$d = ?$



Нарисуємо установку для спостереження інтерференції поляризованих променів: П – поляроїд, К – пластинка кварцу,  $a$  і  $b$  – амплітуда коливань незвичайного і звичайного променів,  $\alpha$  – кут між напрямом коливань у падаючому світлі з амплітудою  $A$  та одним з головних напрямків пластинки. При інтерференції звичайного та незвичайного променів одержимо еліптичну поляризацію. Рівняння еліпса буде

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \varphi = \sin^2 \varphi.$$

Звичайний і незвичайний промені, які пройшли пластинку К, мають різницю ходу, яка дорівнює  $(n_e - n_o) \cdot d = \Delta$ , і, відповідно, різницю фаз  $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o) d$ . Якщо  $d$  таке, що  $\varphi = 90^\circ$ , тобто  $\Delta = \frac{\lambda}{4}$ , рівняння еліпса буде мати вигляд  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ , якщо ще й  $\alpha = 45^\circ$ , то  $a = b$  і рівняння має вигляд  $x^2 + y^2 = a^2$ , тобто рівняння кола. Світло буде поляризоване по колу. Для цього  $\Delta = (n_e - n_o) \cdot d = \frac{\lambda}{4}$ , звідси

$$d = \frac{\lambda}{4(n_e - n_o)} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{4(1,5533 - 1,5442)} = 0,0014 \text{ см.}$$

Відповідь: Найменша товщина пластинки  $d = 0,0014$  см. В загальному вигляді  $\Delta = \left(m + \frac{1}{4}\right) \lambda$ , де  $m = 0, 1, 2, \dots$ , при  $m = 0$ ,  $\Delta = \frac{\lambda}{4}$ , що ми і використали в задачі.

### **Задачі для самостійного розв'язування та домашнього завдання**

1. Побудувати за Гюйгенсом направлення заломлених хвиль (променів) в одновісному позитивному та негативному кристалах для випадку: оптична вісь перпендикулярна до площини падіння і паралельна поверхні кристала. Промені падають на кристал паралельно під деяким нахилом до поверхні кристала.
2. Побудувати за Гюйгенсом направлення заломлених хвиль (променів) в одновісному позитивному та негативному кристалах для випадку, коли оптична вісь лежить у площині падіння паралельно поверхні кристала. Промені падають на кристал паралельно під деяким нахилом.
3. Побудувати за Гюйгенсом направлення заломлених хвиль в одновісному кристалі (позитивному та негативному)

14. Пластинка кварцу товщиною в 1 мм вирізана перпендикулярно оптичній осі і розташована між схрещеними ніколями. Чому при будь-якій довжині хвилі падаючого світла вона буде залишатися освітленою?
15. Чому при обертанні аналізатора пластинка кварцу, яка вирізана перпендикулярно до оптичної осі і розташована між ніколями, змінює свою пофарбованість?