

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 82

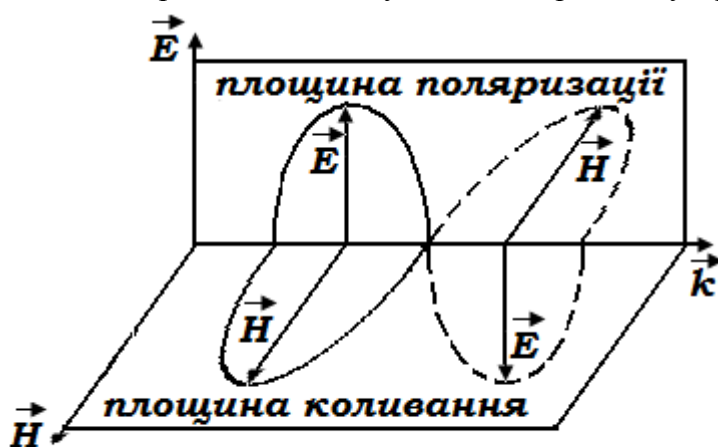
### ВИВЧЕННЯ ЯВИЩА ПОЛЯРИЗАЦІЇ СВІТЛА. ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ МАЛЮСА.

**Мета роботи:** Вивчення законів поляризації світла, принципу роботи поляризаторів.

**Прилади і матеріали:** Лабораторна установка з поляризатором і аналізатором для вивчення закону Малюса.

#### Теоретичні відомості

Відповідно до хвильової теорії, світло являє собою електромагнітні хвилі, що виникають при коливаннях електронів усередині атомів молекул. Електромагнітна хвиля характеризується коливаннями двох векторів: вектора електричної напруженості  $\vec{E}$  і вектора магнітної напруженості  $\vec{H}$ . Обидва вектори коливаються у взаємно перпендикулярних площинах.



**Рис. 1**

Швидкість поширення світлової хвилі перпендикулярна до напрямку обох векторів  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  (рис. 1). Отже, світлова хвиля поперечна. Вектор  $\vec{k}$  на рис.1 – хвильовий вектор, що показує напрямок розповсюдження хвилі. Дослідженнями було встановлено, що безпосередню дію на око, фоточуттєвий шар чи інші тіла, що реагують на світло, робить перемінне електричне поле.

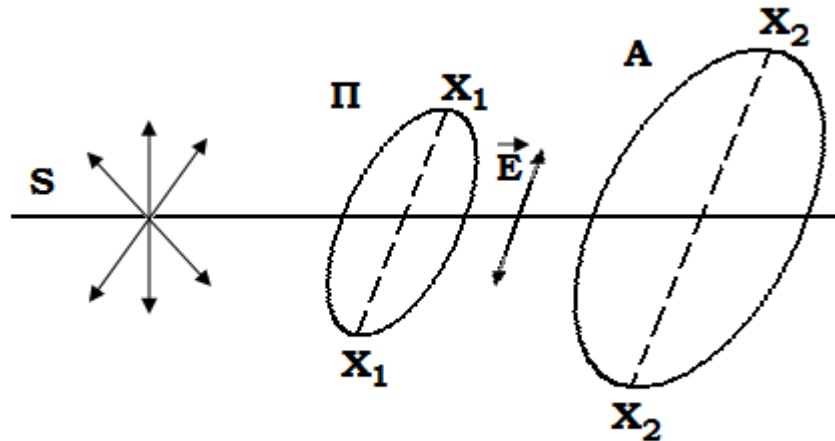
У природному світлі, що випускається безліччю елементарних випромінювачів, ми маємо справу з коливаннями, площини яких міняються з великою швидкістю у всіляких напрямках. Світловий промінь із всілякими орієнтаціями вектора  $\vec{E}$ , а, отже, і  $\vec{H}$  які, однак, будуть перпендикулярні напрямку поширення луча, називається *природним*.

Світлова хвиля, у якої вектори  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$  мають відповідно свій визначений і постійний напрямок коливань називається *плоскополяризованою* (чи *лінійнополяризованою*). Площина, у якій коливається вектор напруженості електричного поля  $\vec{E}$ , називається *площиною поляризації*. Площина, перпендикулярна площини коливання, - *площиною коливань* (рис. 1).

За допомогою спеціальних пристосувань (поляроїдів, призм Ніколя) природне світло може бути поляризовано. Основною властивістю таких пристосувань є те, що вони можуть пропускати світлові хвилі, електричний вектор напруженості яких коливається в строго визначеному напрямку. Цей напрямок прийнято називати *головним напрямком*.

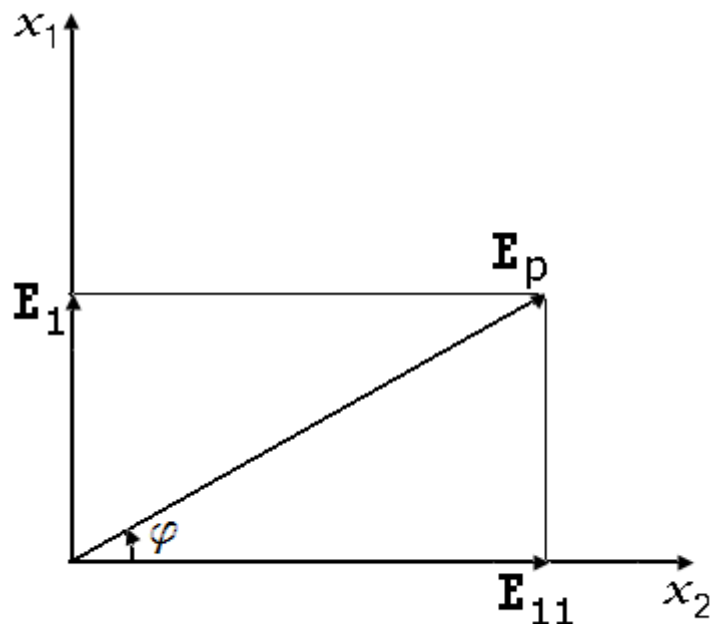
У даній роботі для одержання і дослідження плоскополяризованого світла застосовуються поляроїди. Поляроїд являє собою целулоїдну плівку, на яку нанесені однаково орієнтовані кристалики геропатиту (сульфат йодистого хініну). Кристали геропатиту цілком поглинають звичайні промені і майже не поглинають незвичайні. Таким чином, природне світло при проходженні крізь поляроїди становиться плоскополяризованим.

Якщо на шляху поширення природного світла поставити поляроїд (промінь світла перпендикулярний поверхні поляроїда) і обертати його навколо напрямку променя, ми не помітимо ніяких змін в інтенсивності світла. Однак якщо на шляху променя поставити ще другий поляроїд паралельно першому й обертати його, то ми помітимо зміну інтенсивності світла, що пройшло через поляроїди. Перший поляроїд будемо назвати *поляризатором П*, другий – *аналізатором А* (рис. 2).



**Рис. 2**

Пройшовши крізь перший поляроїд, світло стає поляризованим. Через другий поляроїд пройдуть тільки ті коливання, що збігаються з його головним напрямком  $x_2x_2$ . Якщо головні напрямки поляризатора  $x_1x_1$  і аналізатора  $x_2x_2$  рівнобіжні один одному, то інтенсивність проходячого світла буде максимальної  $I_0$ . Якщо ж аналізатор повернутий так, що його головний напрямок складе кут  $90^\circ$  з головним напрямком поляризатора, то інтенсивність проходячого світла  $I$  буде дорівнювати нулю. Таке положення поляроїдів називається *схрещеним*. У тому випадку, коли головні напрямки поляроїдів складають між собою деякий кут  $\varphi$ , інтенсивність проходячого світла  $I$  буде приймати проміжні значення між нулем і  $I_0$ . Розглянемо це питання трохи докладніше. Нехай  $E_p$  (рис. 3) – амплітуда вектора коливання, що пропускається поляризатором.



**Рис. 3**

Інтенсивність світла, що пройшло через поляризатор, буде:

$$I = k \cdot E_p^2,$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Амплітуду  $E_p$  можна розкласти на дві перпендикулярні складові  $E_{11}$  і  $E_1$ . Амплітуда  $E_{11}$  збігається з головним напрямком аналізатора. Коливання, перпендикулярні напрямку, не проходять через аналізатор.

З рис. 3 видно, що амплітуда вихідного з аналізатора світла дорівнює:

$$E_{11} = E_p \cdot \cos\varphi \quad (1)$$

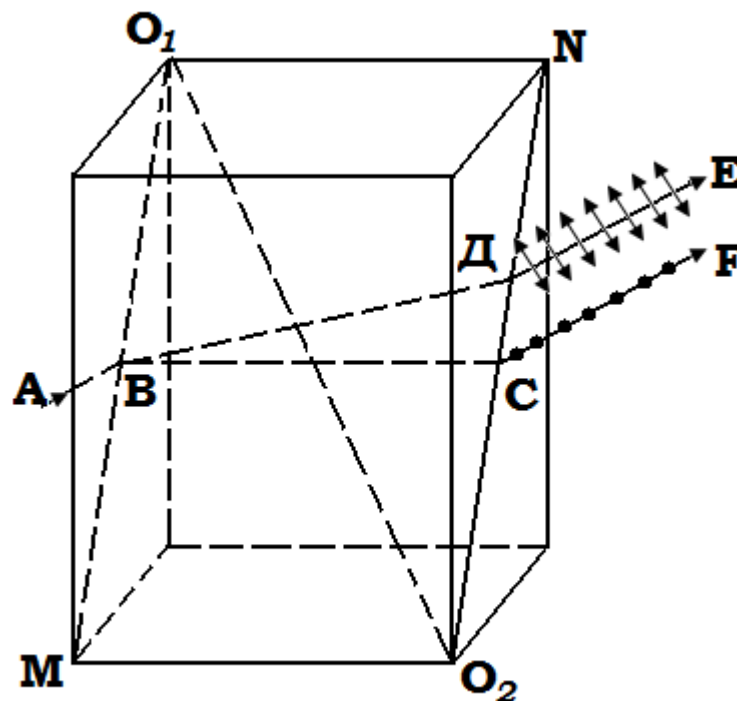
Інтенсивність світла, що пройшло через аналізатор:

$$I = k \cdot E_{11}^2 \quad (2)$$

Підставивши в другу рівність значення  $E_{11}$  будемо мати  $I = k \cdot E_p^2 \cdot \cos^2\varphi$ , замінивши  $k \cdot E_0^2$  через  $I_0$ , одержимо вираження закону Малюса

$$I = I_0 \cdot \cos^2\varphi \quad (3)$$

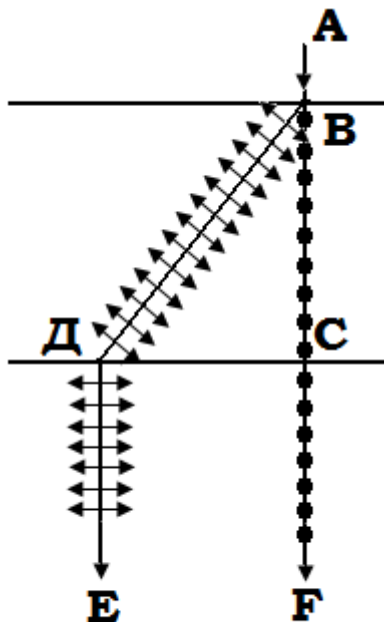
Поляризоване світло можна одержати різними способами. Один з цих способів заснований на явищі подвійної променезаломлюваності, що спостерігається в анізотропних середовищах. Прикладом анізотропного середовища можуть служити кристали кварцу й ісландського шпату. На рис. 4 показано проходження світла через кристал ісландського шпату.



**Рис. 4**

Пряма  $O_1O_2$  називається кристалографічною віссю кристала. Усякий напрямок у кристалі, рівнобіжний  $O_1O_2$  називається оптичною віссю кристала.

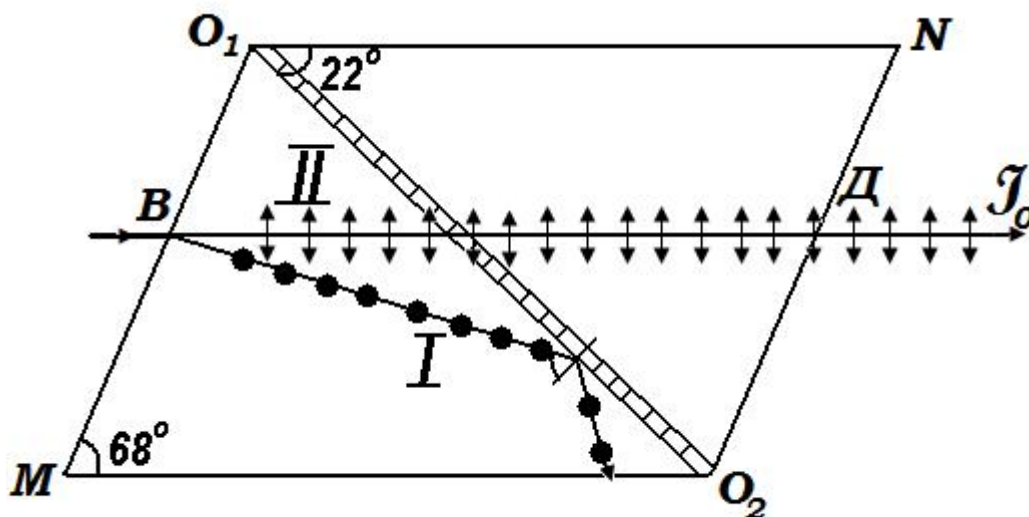
Перетин  $MO_1NO_2$  – головний перетин кристала, чи головна площина; цей перетин проходить через оптичну вісь і нормаль, проведений у точку В падіння лучачи АВ. Природний промінь АВ розділяється в кристалі на два промені ВД і ВС. Промінь ВД називається незвичайним променем, тому що показник заломлення його залежить від напрямку променя, що поширюється, і, отже, у різних напрямках у кристалі він поширюється з різними швидкостями. Промінь ВС називається звичайним променем, тому що він підкоряється законам заломлення, і швидкість його в кристалі не залежить від напрямку (рис. 5).



**Рис. 5**

Обидва промені, що вийшли з кристала, поляризовані. Коливання векторів у промені ВДЕ відбуваються в площині головного перетину кристала (промінь відзначений рисками), а в промені ВС – у площині, перпендикулярної головному перетину (промінь відзначений точками). Таким чином, обидва промені поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах. Властивості обох променів, що вийшли з кристала, за винятком напрямку поляризації, абсолютно однакові. Щоб використовувати такі поляризовані промені для технічних цілей, їх треба відокремити один від одного. Це здійснюється в призмі Ніколя.

Для виготовлення призми Ніколя природний кристал ісландського шпату підпилюють певним чином (кути призми зазначені на рис. 6), потім кристал розпилюється по лінії  $O_1O_2$  і обидві половини склеюються канадським бальзамом. Перетин призми  $MO_1NO_2$  одночасно буде і головним перетином.



**Рис. 6**

Звичайний промінь *I*, дійшовши до шару канадського бальзаму  $O_1O_2$ , випробує повне внутрішнє відбиття, тому що показник заломлення ісландського шпату для звичайного променя більше показника заломлення канадського бальзаму, а кут падіння променя *I* на шар бальзаму виявляється більше граничного ( $>76^\circ$ ).

Незвичайний промінь *II* проходить крізь шар канадського бальзаму не переломлюючись, тому що показник заломлення ісландського шпату для незвичайного променя менше показника заломлення канадського бальзаму.

За допомогою призми Ніколя можна:

1. Одержати поляризований промінь;
2. Визначити напрямок коливань у поляризованому промені.

У першому випадку призма Ніколя служить поляризатором, а в другому – аналізатором. Два Ніколя, розташованих послідовно, не пропускають променів, якщо вони схрещені, тобто, якщо їхні головні перетини перпендикулярні. Якщо ж їхні головні перетини рівнобіжні, то інтенсивність світла, що пройшло аналізатор, буде максимальною. Інтенсивність світла, що пройшло через два Ніколя, підкоряється закону Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (1)$$

де  $I_0$  – інтенсивність світла, що пройшло перший ніколь;  $I$  – інтенсивність світла, що пройшло другий ніколь;  $\varphi$  – кут, між головними площинами ніколей.

### Опис установки

Установка, зображена на рис. 7 і 7а складається з джерела світла  $S$ , двох поляроїдів (поляризатора  $\Pi$  и аналізатора  $A$ ), розміщених у металевому циліндрі і люксметра  $L_x$ .

Циліндр укріплений на непрозорому футлярі  $\Phi$ , у якому розміщений фотоелемент і понижуючий трансформатор, що живлює лампочку розжарювання, що служить джерелом світла. На верхньому даху футляра розміщений лімб, розділений на градуси (чи транспортир), що слуге для виміру кута повороту аналізатора. Кут повороту аналізатора вимірюється по лімбі за допомогою покажчика, укріпленого на обертовому кільці  $C$ , жорстко зв'язаним з аналізатором  $A$ . Кільце розташоване в підставі циліндра.

Установка включається в мережу перемінного струму за допомогою шнура, підведеного до трансформатора через тумблер  $T$ , розташований на панелі приладу.

Шкала магнітоелектричного вимірника люксметра проградуирована в люксах. Шкала люксметра має три межі виміру 25-100-500  $L_x$ . Межа виміру вибирається в залежності від потужності джерела світла.

Виміри варто починати при положенні перемикача на межі 500  $L_x$ . Якщо при цьому стрілка відхиляється менше ніж на 10 розподілів, то треба перемикач перевести на межу 100  $L_x$  чи 25  $L_x$ .

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з установкою роботи.
2. Включити установку в мережу перемінного струму.

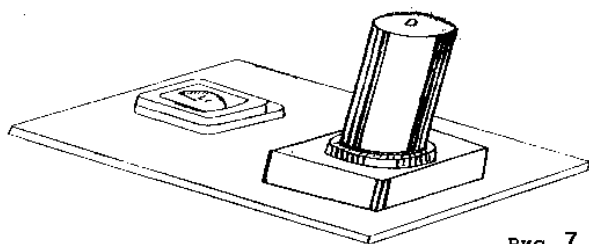


рис. 7

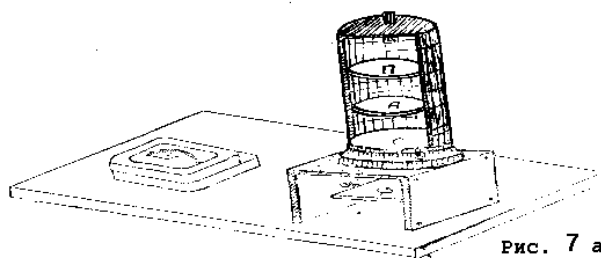


рис. 7 а

3. Обертаючи аналізатор за допомогою кільця  $C$  навколо осі, домогтися максимального показання люксметра  $E_{max}$ . Це буде відповідати максимальної інтенсивності світла  $I_0$ . Записати показання на лімбі аналізатора – кут  $\varphi$  і показання люксметра  $E_{max}$ .
4. Зняти залежність показань люксметра  $E$  від кута повороту аналізатора  $\varphi$  через кожні  $10^\circ$  у межах  $0-180^\circ$ .
5. Побудувати графік  $E_{сер} = f(\cos^2\varphi)$ . Дані вимірів записати в таблицю .

### Контрольні питання

1. Яке світло називається природним? Як схематично зображується природне світло?
2. Яке світло називається поляризованим? Як схематично зображується поляризоване світло?
3. Малюнок плоскополяризованого світла. Яка площа називається площиною коливань? площиною поляризації?
4. Яке світло називається частково поляризованим? Як схематично зображується частково поляризоване світло?
5. Яке світло називається еліптично поляризованим? Що означає ліва і права поляризація? Як схематично зображується еліптично поляризоване світло?
6. Закон Малюса з висновком.
7. Закон Брюстера. Що називається кутом
8. Що називається площиною падіння? кутом падіння?
9. Які кристали називаються анізотропними? Що називається оптичної віссю кристала? Чим відрізняються двувісні кристали від одноосьових?
10. Призма Ніколя. Як улаштована? Як працює?
11. Способи одержання поляризованого світла.
12. Інтерференція поляризованого світла.

### Звіт про виконану роботу

Величини, що вимірюються:

$E$  – показання люксметра,  $[E] = \text{лк}$ ,

Величини, що обчислюються

$E_{сер}$  – середне між показаннями люксметра для кутів, сума яких дорівнює  $180^\circ$ ,  $[E_{сер}] = \text{лк}$ .

## 2. Результати експерименту

| $N_2$<br>$n/n$ | $\varphi$ | $E_1$ | $\Phi$ | $E_2$ | $E_{сep}=(E_1+E_2)/2$ | $\cos \varphi$ | $\cos^2 \varphi$ |
|----------------|-----------|-------|--------|-------|-----------------------|----------------|------------------|
|                | 0         |       | 180    |       |                       |                |                  |
|                | 10        |       | 170    |       |                       |                |                  |
|                | 20        |       | 160    |       |                       |                |                  |
|                | 30        |       | 150    |       |                       |                |                  |
|                | 40        |       | 140    |       |                       |                |                  |
|                | 50        |       | 130    |       |                       |                |                  |
|                | 60        |       | 120    |       |                       |                |                  |
|                | 70        |       | 110    |       |                       |                |                  |
|                | 80        |       | 100    |       |                       |                |                  |
|                | 90        |       | 90     |       |                       |                |                  |