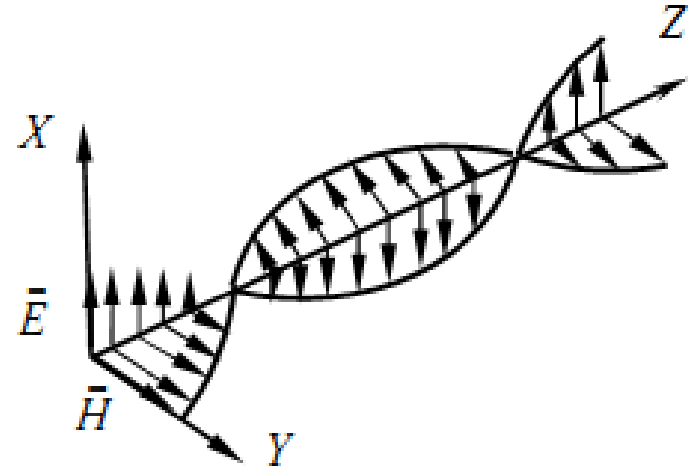


ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА

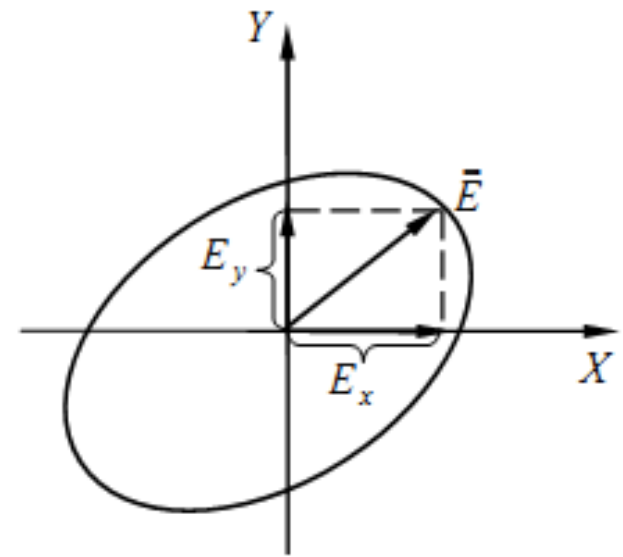
к.ф.-м.н., ст. викл.

Пилипенко О.В.



- Світло, у якого напрями коливань упорядковані будь-яким чином, називається **поляризованим**.
- Якщо коливання світлового вектора відбуваються тільки в одній площині, яка проходить через напрямок поширення променя, то таке світло називається **плоско-** (або **лінійно**) **поляризованим**. Площина, в якій відбуваються коливання світлового вектора, називається площиною коливань, або **площиною поляризації**

- Упорядкованість коливань може полягати й у тому, що вектор E_r може обертатися відносно променя, одночасно змінюючись за величиною. У результаті кінець вектора E_r описує еліпс (див. рис. 62.2). Таке світло називається еліптично поляризованим. Якщо кінець вектора E_r описує коло, то таке світло називається поляризованим по колу. Зрозуміло, що еліптично поляризоване світло можна подати як сукупність двох взаємно перпендикулярних лінійнополяризованих променів світла.



- У природному світлі коливання різних перпендикулярних до променя напрямків невпорядковано змінюють один одного. Всі напрями коливань природного світла мають однакову ймовірність. Таким чином, природне світло можна подати як сукупність двох некогерентних електромагнітних хвиль, які поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах і мають однакові інтенсивності.
- **Поляризатори** вільно пропускають коливання, паралельні площині, яку називають **площиною поляризатора**, і повністю або частково затримують коливання, які перпендикулярні до цієї площини. Поляризатор, що затримує перпендикулярні до його площини коливання тільки частково, будемо називати **неідеальним**.
- На виході з неідеального поляризатора отримуємо світло, у якому коливання одного напрямку переважають над коливаннями інших напрямків. Таке світло називається частково поляризованим.

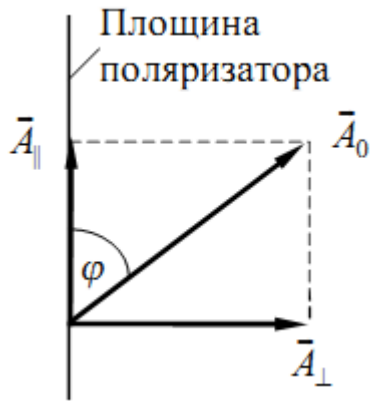
- Якщо пропустити частково поляризоване світло через поляризатор, то при його обертанні навколо напрямку поширення світлового променя інтенсивність світла на виході буде змінюватися в межах від $I_{\max}$ до $I_{\min}$, причому перехід від одного із цих значень до іншого буде відбуватися при повороті на кут, що дорівнює $\pi/2$. Вираз

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

- визначає ступінь поляризації. Для плоскополяризованого світла $I_{\min} = 0$ й $P = 1$; для природного світла $I_{\min} = I_{\max}$ й $P = 0$. До еліптично поляризованого світла поняття ступеня поляризації не застосовується.

Закон Малюса. Проходження природного світла через поляризатор

- Нехай на поляризатор падає світло, в якому коливання амплітуди A_0 відбувається в площині, що утворює із площиною поляризатора кут φ

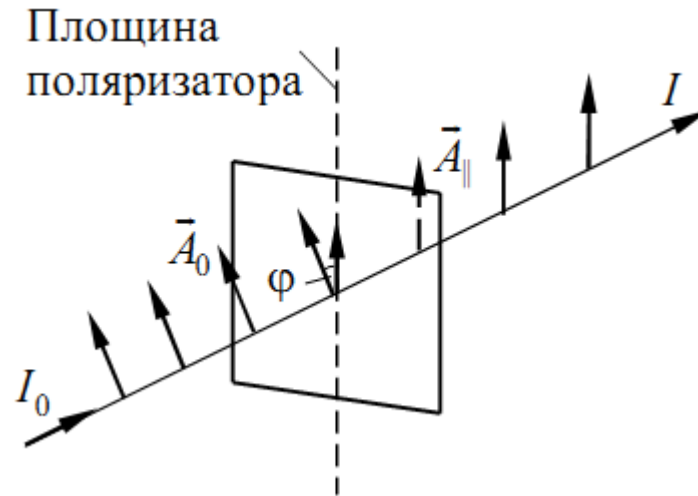


$$A_\parallel = A_0 \cos \varphi \text{ й } A_\perp = A_0 \sin \varphi$$

- інтенсивність світла на виході поляризатора буде визначатися виразом
- закон Малюса:

$$I \sim (A_\parallel)^2 = A_0^2 \cos^2 \varphi, \text{ або } \boxed{I = I_0 \cos^2 \varphi}$$

- Розглянемо, як змінюється інтенсивність природного світла при проходженні через поляризатор



$$A_{\parallel} = A_0 \cos \varphi$$

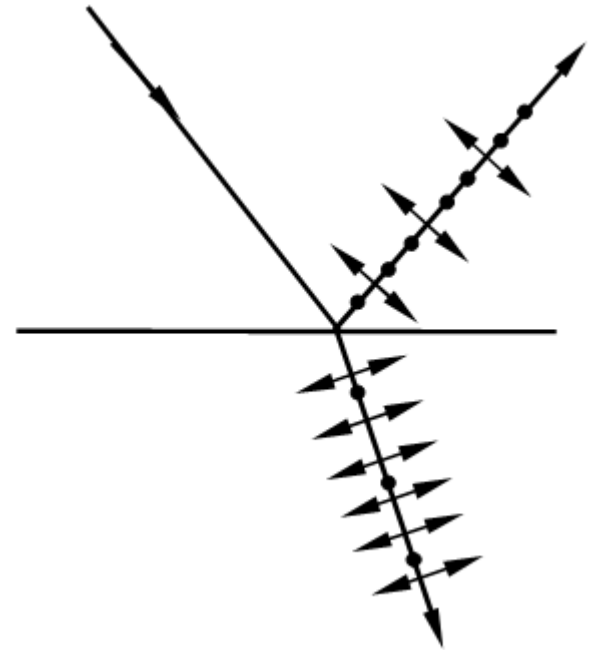
$$I \sim \langle A_{\parallel}^2 \rangle = A_0^2 \langle \cos^2 \varphi \rangle.$$

- У природному світлі кут φ з часом змінюється, усі значення φ мають однакову ймовірність. Тому частина світла, що пройшла через поляризатор, буде пропорційною середньому значенню $\cos^2 \varphi$, тобто $1/2$. Таким чином, інтенсивність природного світла після проходження поляризатора дорівнює

$$I = I_0 / 2$$

Поляризація світла при відбитті та заломленні. Закон Брюстера

- Коли кут падіння світла на межу розділу двох прозорих діелектриків (наприклад, на поверхню скляної пластинки) відмінний від нуля, то відбитий і заломлений промені виявляються частково поляризованими. У відбитому промені переважають коливання, що перпендикулярні до площини падіння, у заломленому промені – коливання, які паралельні площині падіння. Ступінь поляризації залежить від кута падіння.



- Позначимо через θ_{Br} кут, який визначається умовою

$$\boxed{\operatorname{tg} \theta_{Br} = n_{12}}$$

- (n_{12} – показник заломлення другого середовища відносно першого). При куті падіння, що дорівнює θ_{Br} , відбитий промінь є повністю поляризованим (він містить тільки коливання, які перпендикулярні до площини падіння). Ступінь поляризації заломленого променя при куті падіння, що дорівнює θ_{Br} , досягає промінь залишається поляризованим тільки частково. **законом Брюстера**, а кут θ – **кутом Брюстера**.

- Легко переконатися у тому, що при падінні світла під кутом Брюстера відбитий і заломлений промені взаємно перпендикулярні. Для цього, крім закону Брюстера, використаємо закон заломлення

$$\boxed{\operatorname{tg} \theta_{Br} = n_{12}} \quad \frac{\sin \theta_{Br}}{\sin \gamma} = n_{12}$$

$$\frac{\sin \theta_{Br}}{\sin \gamma} = n_{12} = \operatorname{tg} \theta_{Br} \equiv \frac{\sin \theta_{Br}}{\cos \theta_{Br}}$$

- або

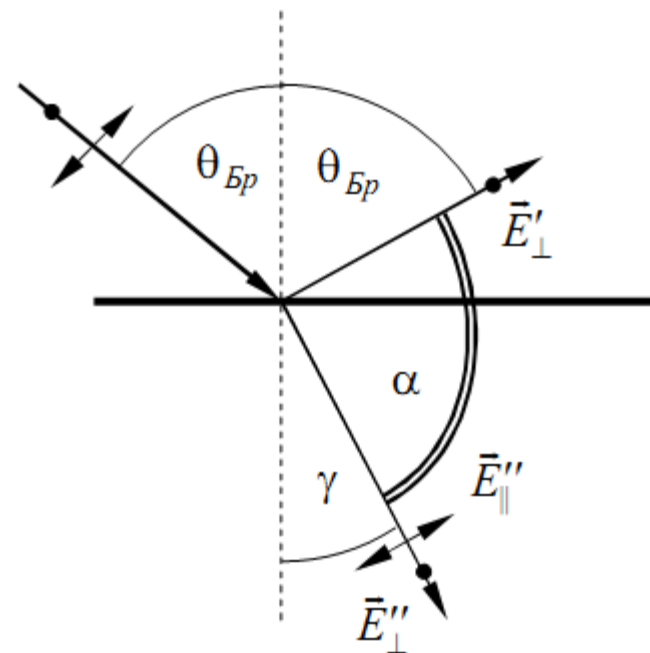
$$\cos \theta_{Br} = \sin \gamma = \cos(\pi/2 - \gamma).$$

- Таким чином

$$\theta_{Br} + \gamma = \pi/2$$

- Звідси випливає, що кут α між відбитим і заломленим променями дорівнює

$$\alpha = \pi - (\theta_{Br} + \gamma) = \pi - \pi/2 = \pi/2$$



- Явище поляризації світла при відбитті й заломленні пояснює електромагнітна теорія Максвелла. Ми обмежимося якісним поясненням цього явища. Припустимо, що відбиття й заломлення відбуваються на межі діелектрика з вакуумом. Падаюча світлова хвиля, проникнувши в діелектрик, змушує оптичні електрони атомів виконувати вимушені коливання. Електрони, які коливаються, випромінюють електромагнітні хвилі, які назвемо вторинними. За межами діелектрика вторинні хвилі формують відбиту хвилю. Усередині діелектрика вторинні хвилі накладаються на падаючу (первинну) хвилю. Результируюча первинної і вторинної хвиль утворюють заломлену хвилю. Вимушені коливання електронів у діелектрику відбуваються в напрямку вектора цієї результируючої заломленої хвилі

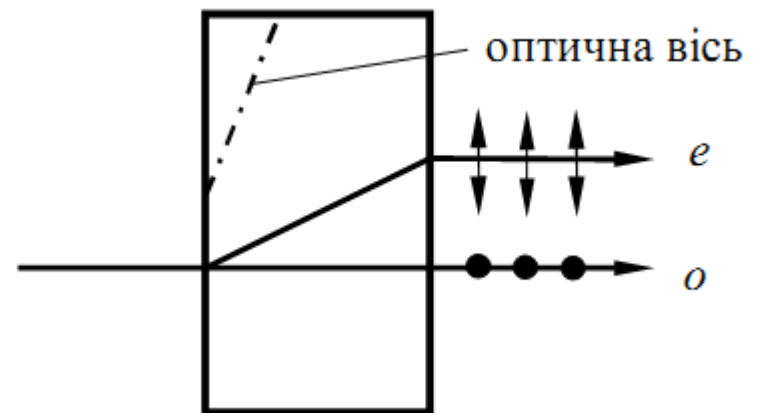
$$\vec{E}'' = \vec{E}_{\parallel}'' + \vec{E}_{\perp}''$$

- Зрозуміло, що електрон, який коливається, можна розглядати як електричний диполь. Як відомо, електричний диполь найбільш інтенсивно випромінює у напрямку, який перпендикулярний до дипольного моменту (напрямку коливань електрона). Випромінювання ж у напрямку, який збігається з напрямком коливань електрона, дорівнює нулю. У випадку, коли світло падає під кутом Брюстера, кут між заломленою та відбитою хвилями дорівнює 90° . Електрони речовини коливаються у напрямку вектора $\vec{E}'' = \vec{E}_{\parallel}'' + \vec{E}_{\perp}''$
- У цьому випадку напрямок $\vec{E}_{\parallel}''$ збігається з напрямком відбитої хвилі. Це означає, що складова хвилі, яка паралельна площині падіння, у відбитій хвилі дорівнює нулю.
- Тобто у відбитій хвилі буде лише перпендикулярна компонента до площини падіння $\vec{E}' = 0 + \vec{E}_{\perp}'$, а отже відбита хвиля буде повністю поляризована.

Явище подвійної променезаломлюваності

- При проходженні світла через всі прозорі кристали, за винятком тих, що належать до кубічної системи, спостерігається явище, яке полягає у тому, що падаючий на кристал промінь розділяється всередині кристала на два промені, які поширюються в загальному випадку з різними швидкостями й у різних напрямках. Це явище отримало назву **подвійної променезаломлюваності**.

Кристали, у яких спостерігається явище подвійної променезаломлюваності, розділяються на **одновісні** й **двовісні**. В одновісних кристалах один із заломлених променів підлягає звичайному закону заломлення. Цей промінь називається звичайним і позначається буквою **o**. Для іншого променя, який називають незвичайним (його позначають буквою **e**)



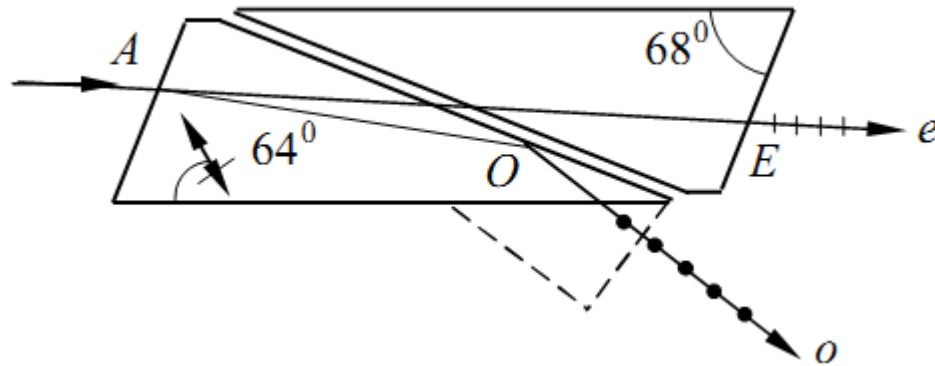
- В одновісних кристалах є напрямок, уздовж якого звичайний і незвичайний промені поширюються, не розділяючись, і з однаковою швидкістю. Цей напрямок називається **оптичною віссю кристала**.
- Будь-яка площина, що проходить через оптичну вісь, називається головним перерізом, або **головною площиною кристала**.
- Дослідження звичайного й незвичайного променів показує, що обидва промені повністю поляризовані у взаємно перпендикулярних напрямках. Площина коливань звичайного променя перпендикулярна до головного перерізу кристала. У незвичайному промені коливання світлового вектора відбуваються в площині, що збігається з головним перерізом.
- Одновісні кристали характеризують показником заломлення звичайного променя $n_o = c/v_o$ й показником заломлення незвичайного променя, який поширюється перпендикулярно до оптичної осі, $n_e = c/v_e$. Останню величину називають просто показником заломлення незвичайного променя

Призма Ніколя

- набагато зручніше користуватися не простими кристалами, а їхніми комбінаціями, які отримали назву **поляризаційні призми**



- Перша поляризаційна призма була винайдена в 1828 р. шотландським фізиком Ніколем (1768-1851). Її скорочено називають ніколем (призма Ніколя).



- Промінь світла, падаючи на виготовлену основу кристала, розділяється всередині кристала на звичайний АО і незвичайний АЕ. Показник заломлення канадського бальзаму ($n = 1,550$) має проміжне значення між звичайним ($n_0 = 1,658$) і незвичайним ($n_e = 1,486$) показниками заломлення ісландського шпату. Кути в призмі Ніколя розраховані так, щоб незвичайний промінь пройшов через шар канадського бальзаму, а звичайний зазнав на ньому повного внутрішнього відбиття й оглинувся зачерненою бічною гранню. У результаті світло, яке виходить з призми, виявляється лінійно поляризованим.

проходження лінійно поляризованого світла через кристалічну пластинку, яка вирізана паралельно оптичної осі OO

Через те що ці промені рухаються з різною швидкістю, між ними виникає різниця ходу

$$\Delta = (n_o - n_e)d$$

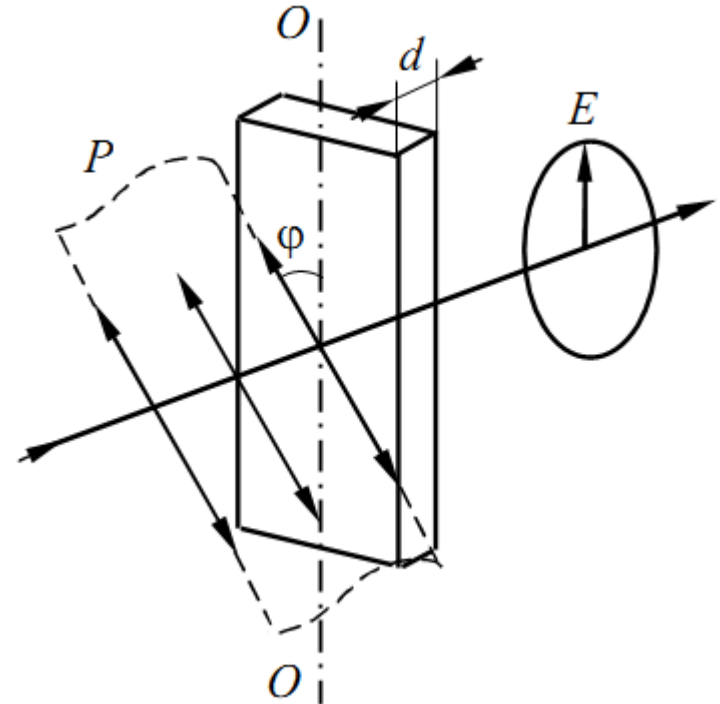
або різниця фаз

$$\delta = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda_0} = 2\pi \frac{(n_o - n_e)d}{\lambda_0}$$

Отже, світло, яке виходить з пластинки, буде еліптично поляризованим.

В окремому випадку може вийти світло, яке поляризоване по колу, або плоскополяризоване світло.

- Вирізана паралельно оптичної осі пластинка, для якої $(n_o - n_e)d = \lambda_0 / 4$ називається **пластинкою з чверть хвилі**. Використовуючи пластинку з чверть хвилі можна отримати еліптично поляризоване світло (а також світло, яке поляризоване по колу).



- У деяких кристалах один із променів поглинається сильніше за інший. Це явище отримало назву **дихроїзму**. Дуже сильний дихроїзм у видимих променях спостерігається у кристалах турмаліну. У ньому звичайний промінь практично повністю поглинається на довжині 1 мм. У кристалах сульфату йодистого хініну один із променів поглинається на шляху приблизно 0,1 мм. Ця обставина використана для виготовлення поляризаційного пристрою, який називається **поляроїдом**. Він являє собою целулоїдну плівку, в яку ведена велика кількість однаково орієнтованих кристаликів сульфату йодистого хініну.