

поляризація світла

Поляризація світла, одна з фундаментальних властивостей оптичного випромінювання (світла), яка описує поперечну анізотропію світлових хвиль. Оскільки вектори E і H електромагнітної хвилі перпендикулярні одне одному, то для повного опису стану поляризації світлового пучка потрібно знати лише поведінку одного із них. Зазвичай для цієї мети вибирається вектор E .

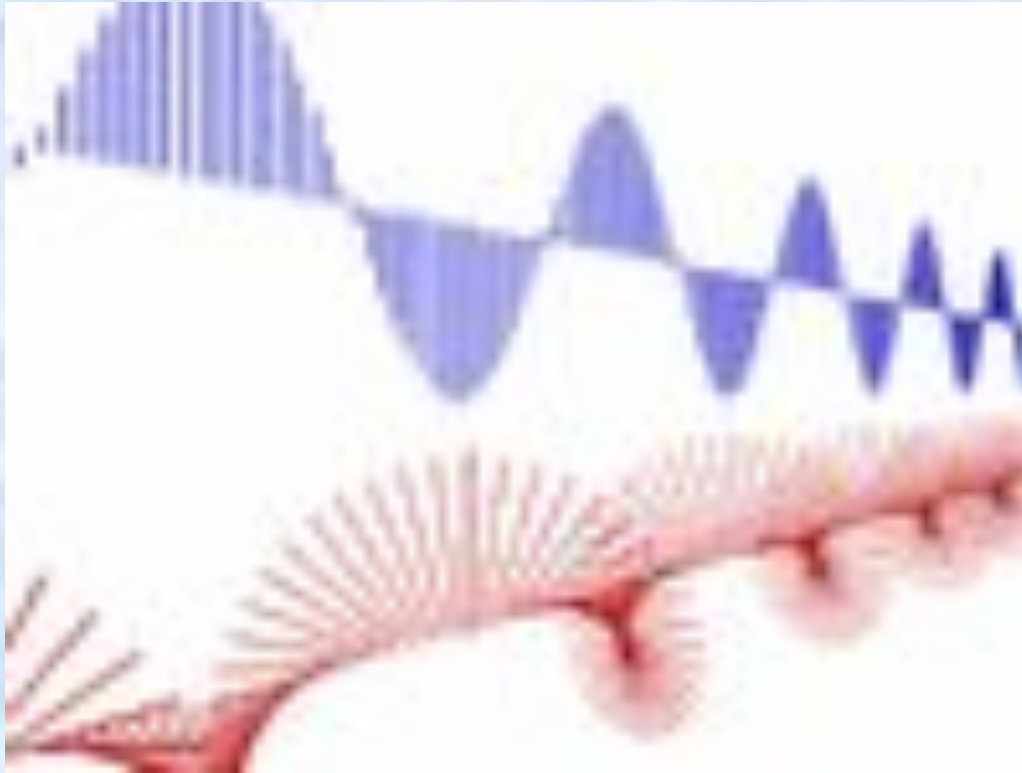
Світло, яке випромінюється будь-яким атомом чи молекулою, завжди поляризоване. Але макроскопічні джерела світла складаються з величезної кількості таких частинок – випромінювачів. При цьому просторові орієнтації векторів E і моменти M випромінювання світла окремими частинками у більшості випадків розподілені хаотично. Таким чином, у загальному випадку напрямок в кожний момент часу є непередбачуваним. Таке випромінювання називається **неполяризованим**, або **природнім світлом**.

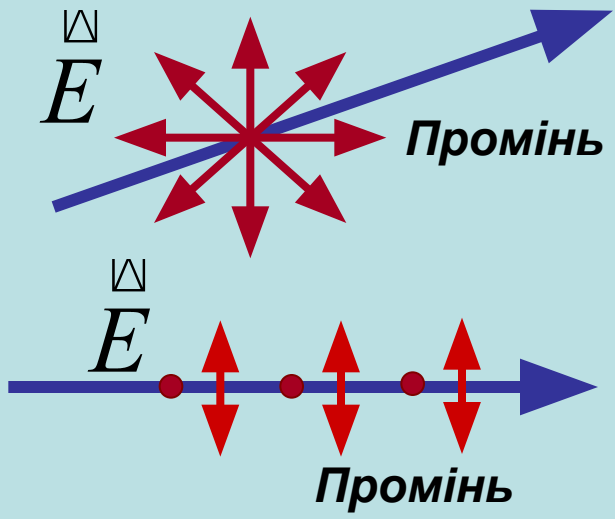
Світло називається **повністю поляризованим**, коли дві взаємно перпендикулярні компоненти (проекції) вектора \vec{E} світлового пучка виконують коливання зі сталою у часі різницею фаз. Зазвичай стан поляризації світла зображується за допомогою еліпса поляризації – проекції траєкторії кінця вектора \vec{E} на площину, перпендикулярну променю.

Проекційна картина повністю поляризованого світла у загальному випадку має вигляд еліпса з правим або лівим напрямком обертання вектора \vec{E} у часі. Таке світло називається **еліптично поляризованим**.

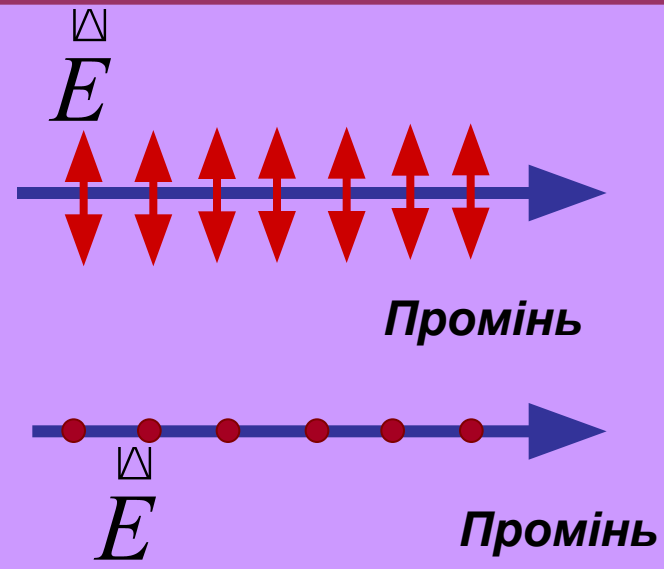
Найбільш цікавими є граничні випадки еліптичної поляризації – **лінійна** (плоска), коли еліпс поляризації вироджується у відрізок прямої лінії, та **циркулярна** (або колова) поляризація, коли еліпс поляризації є колом. У першому випадку світло називають **лінійно поляризованим**, а у другому – **циркулярно поляризованим**.

Лінійно поляризована електромагнітна хвиля (зображено синім кольором) та хвиля **колової поляризації** (зображено червоним).





Неполяризоване
світло



Лінійно
поляризоване
світло

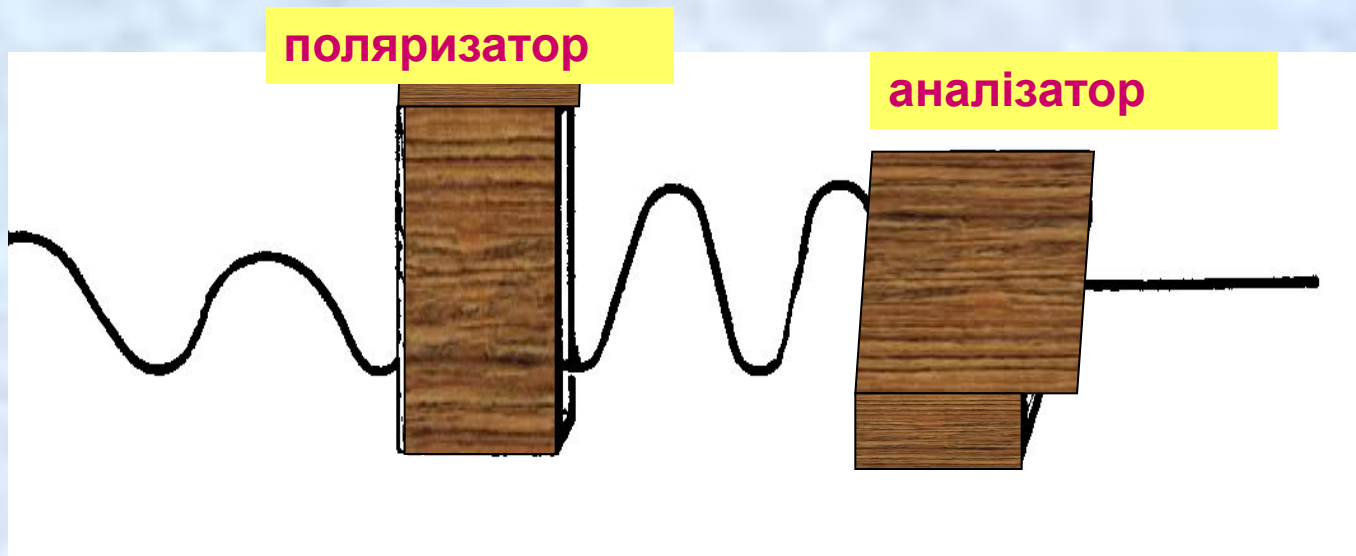
Площина, в якій коливається світловий вектор (вектор напруженості електричного поля) називається **площиною коливань**. **Площиною поляризації** називається площина, перпендикулярна до площини коливань.

Плоскополяризоване світло можна отримати за допомогою **поляризатора**. Ці прилади вільно пропускають коливання паралельні певній площині – **площині поляризатора**, та повністю, або частково затримують коливання перпендикулярної поляризації. Поляризатор, який неповністю поляризує світло називають **неідеальними**. На виході з такого поляризатора світло частково поляризоване. Якщо пропустити частково поляризоване світло пропустити через поляризатор, то під час обертання цього поляризатора навколо напрямку променя, інтенсивність світла на виході буде змінюватися в межах від I_{\max} до I_{\min} . Для характеристики ступеня поляризації світла вводять поняття **ступеня поляризації**:

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

Для плоскополяризованого світла $I_{\min} = 0$ і $P = 1$,

для природного світла $I_{\max} = I_{\min}$ і $P = 0$.

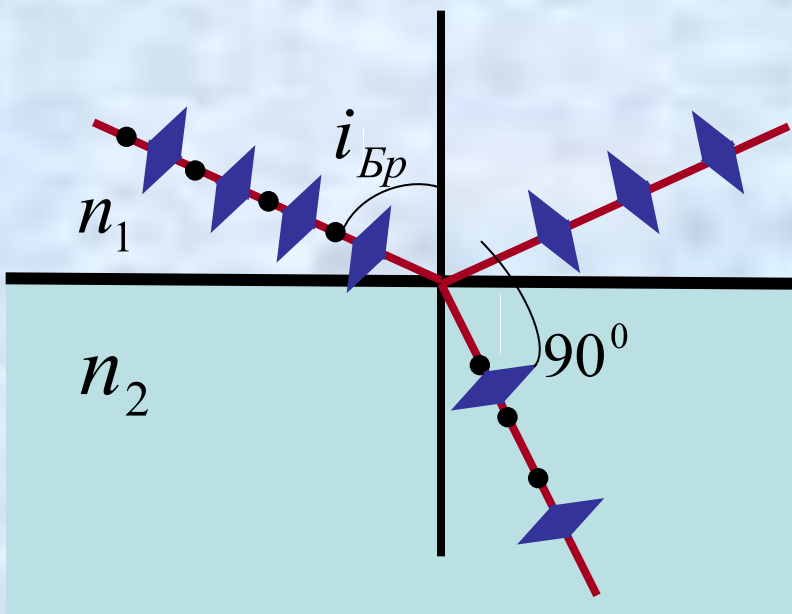


Механічна модель явища проходження світлової хвилі через дві пластинки турмаліну

Турмалінова пластинка вирізається так, що площини, які її обмежують паралельні головній кристалографічній осі. За пластинкою світлові коливання відбуваються тільки в одній площині, вони лінійно поляризовані

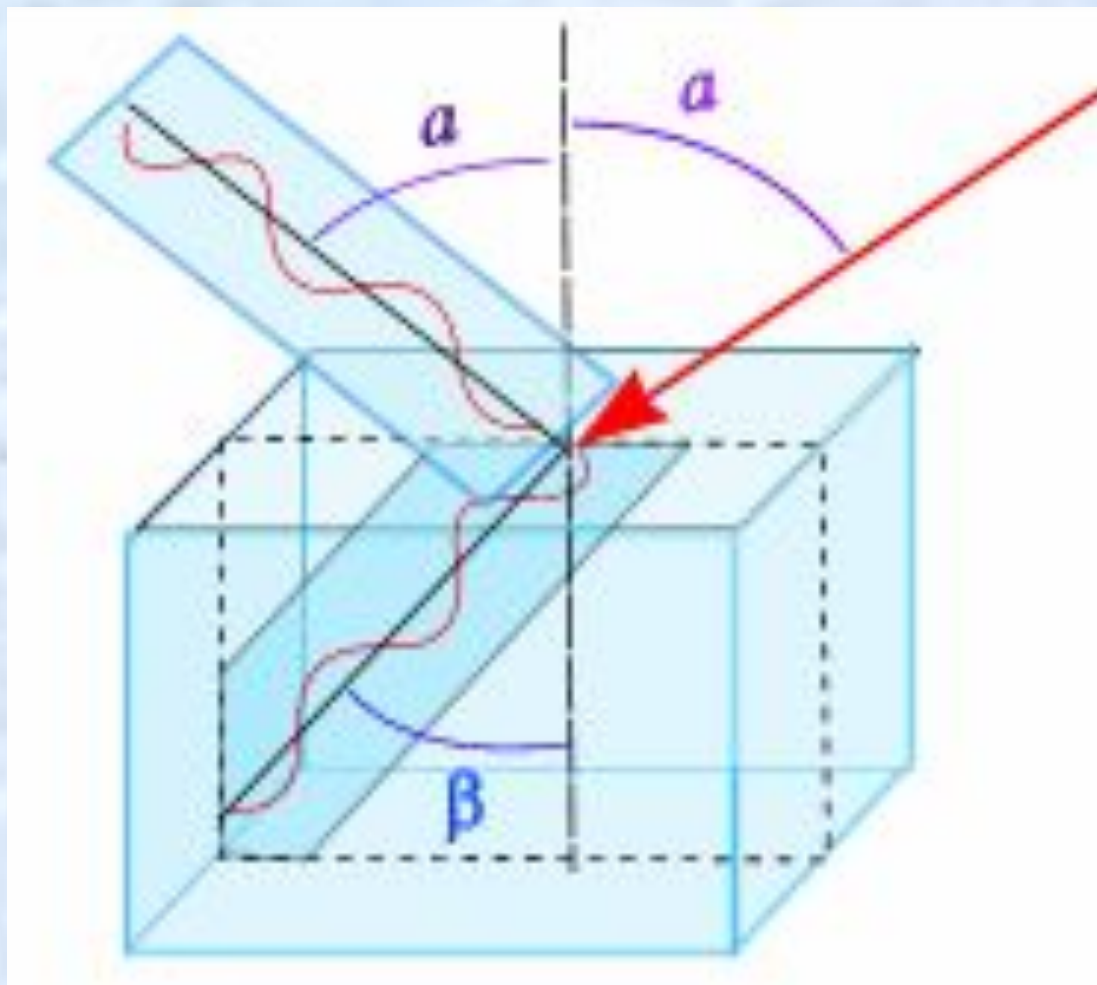
СПОСОБИ ОТРИМАННЯ ПОЛЯРИЗОВАНОГО СВІТЛА

1 Поляризація світла при відбиванні від поверхні діелектриків. Закон Брюстера (1815)



Брюстер встановив, що при певному куті падіння променя на діелектричну пластинку (скло), відбитий промінь буде максимально поляризованим. Кут падіння (кут максимальної поляризації) визначається за **законом Брюстера: відбите світло повністю лінійно поляризований в площині падіння при куті падіння, який задовольняє умові:**

$$\operatorname{tg} i_{Br} = n_{21}$$



Поляризація світла при його відбиванні

Девід Брюстер



1781 – 1868

Шотландський фізик

Народився у Джедборо. Вивчав теологію у Единбурзькому університеті, прийняв сан священика і став одним з засновників Вільної шотландської церкви. Був фармацевтом, потім доктором прав та адвокатом; але вже з 1801 р. став займатися фізикою, якій потім - і переважно оптиці - присвятив своє життя. Згодом він був професором фізики і, нарешті, ректором Единбурзького університету. Спеціалізувався на вивченні оптичних явищ, перед усім спектральних та поляризаційних. Відкрив закон, який має його ім'я. У 1816 році винайшов калейдоскоп.

2 Подвійне променезаломлення



Оптично ізотропною речовиною називаються середовище, в кожній точці якого швидкість світла не залежить ні від напрямку розповсюдження, ні від характеру поляризації хвилі. В іншому випадку речовина називається **оптично анізотропною**.

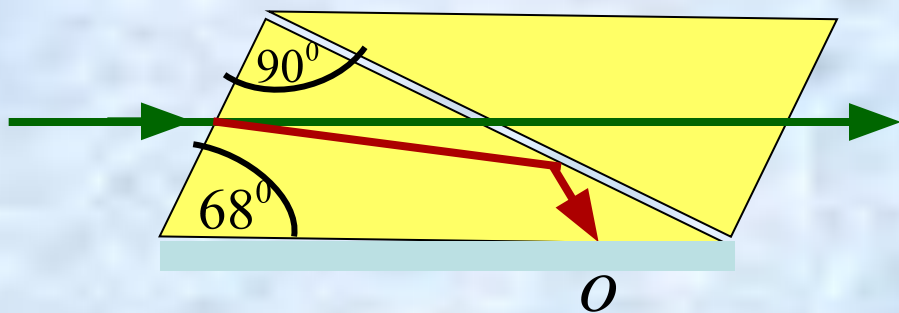
В оптично анізотропних кристалах спостерігається явище **подвійного променезаломлення**, яке полягає у тому, що промінь світла, який падає на поверхню кристалу, роздвоюється в ньому на два заломлених промені, поляризованих у взаємно перпендикулярних площинах.

Оптичною віссю кристалу називається напрямок в оптично анізотропному кристалі, вздовж якого світло розповсюджується без подвійного променезаломлення. Розрізняють одноосні і двохосні кристали.

В одноосному кристалі один із променів, які утворюються при подвійному променезаломленні, підкоряється законам заломлення світла, тому називається **звичайним променем** (o). Другий промінь називають **незвичайним променем** (e). Ці промені поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах.

Оптично анізотропні кристали використовують для створення **поляризаторів** – приладів, які поляризують світло.

Призма Ніколя



Червоним позначений
звичайний промінь
(горизонтальна поляризація),
зеленим — незвичайний
(вертикальна поляризація)

Нижня грань призми повністю поглинає відбитий від площини склеювання звичайний промінь. Клей — канадський бальзам.

3 Дихроїзм

Дихроїзм – це явище поглинання тільки однієї поляризації світла. Прикладом сильного дихроїзму для видимого світла є кристал турмаліну. В ньому звичайний промінь практично поглинається на довжині 1мм. В кристалах сульфату йодистого хініну один із променів поглинається практично на довжині 0,1мм. Тому його використовують для виготовлення поляризаційного пристрою, який називається **поляроїдом**.

Поляроїд – це целулоїдна плівка, в яку внесли велику кількість однаково орієнтованих кристаликів сульфату йодистого хініну.

ЗАКОН МАЛЮСА

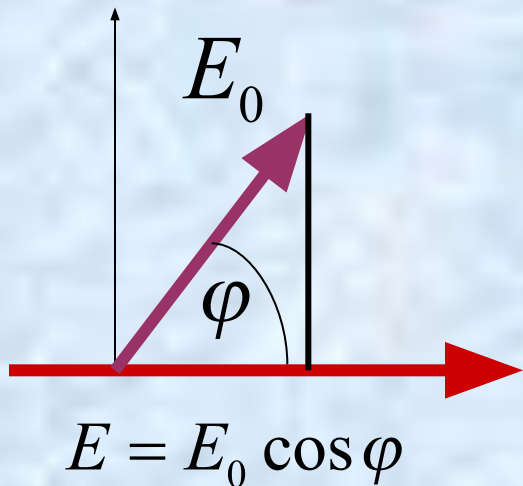
При проходженні природного світла через ідеальний поляризатор (поглинання відсутнє і світло повністю поляризується) його інтенсивність зменшується вдвічі, тобто

$$I_0 = \frac{1}{2} I_{\text{прир}}$$

$I_{\text{прир}}$ - інтенсивність неполяризованого світла, яке падає на поляризатор,

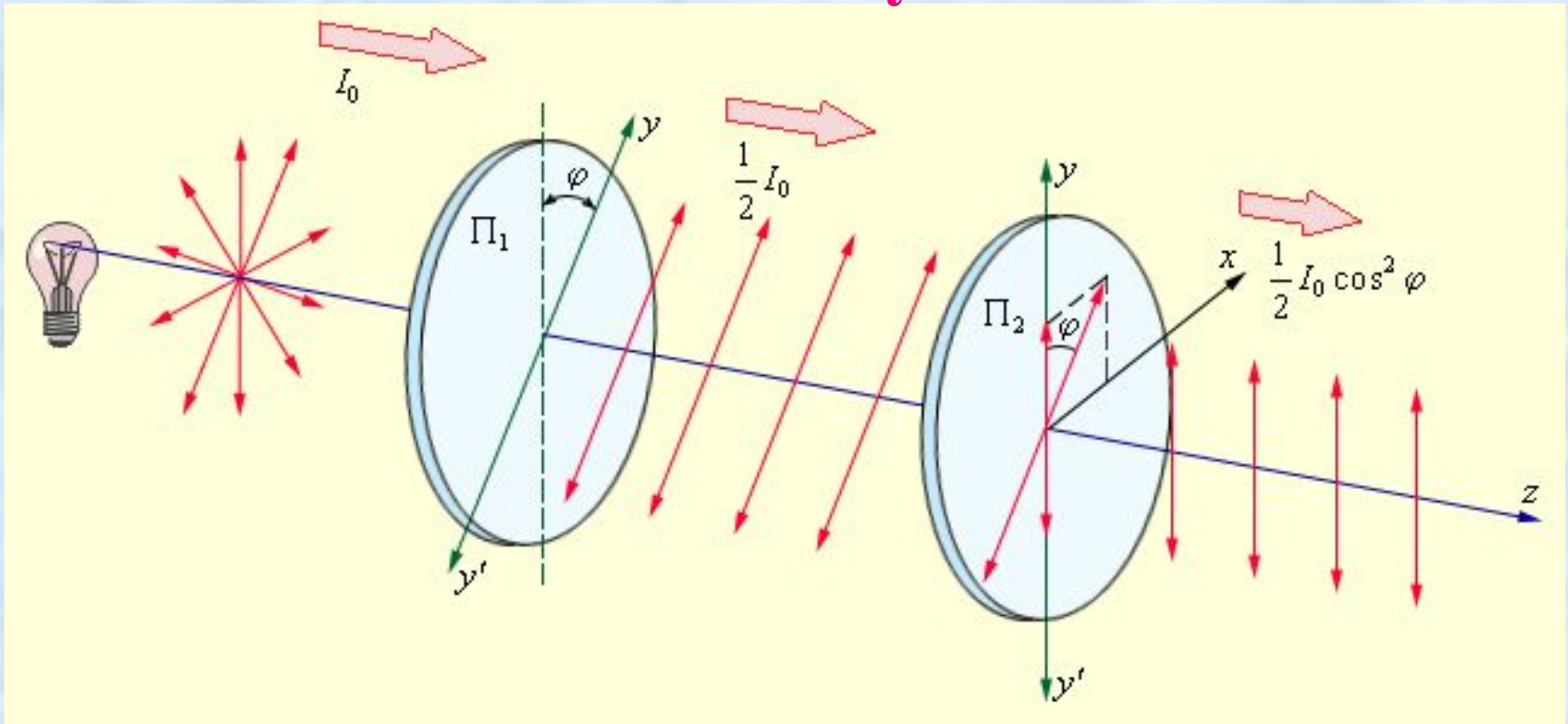
I_0 - інтенсивність світла, яке вийшло з поляризатора.

$$I \sim E^2 \quad \text{тоді} \quad I = I_0 \cos^2 \varphi$$



Площина поляризації поляризатора

Виведення закону Малюса



Проходження світла через два поляроїди.
у y' – напрямки поляризації поляроїдів

Коли на поляризатор падає плоскополяризоване світло з інтенсивністю I_0 , то інтенсивність світла I , яке вийде з поляризатора визначається **законом Малюса**:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

φ - кут між площиною поляризації поляризованого світла і площиною поляризації поляризатора.



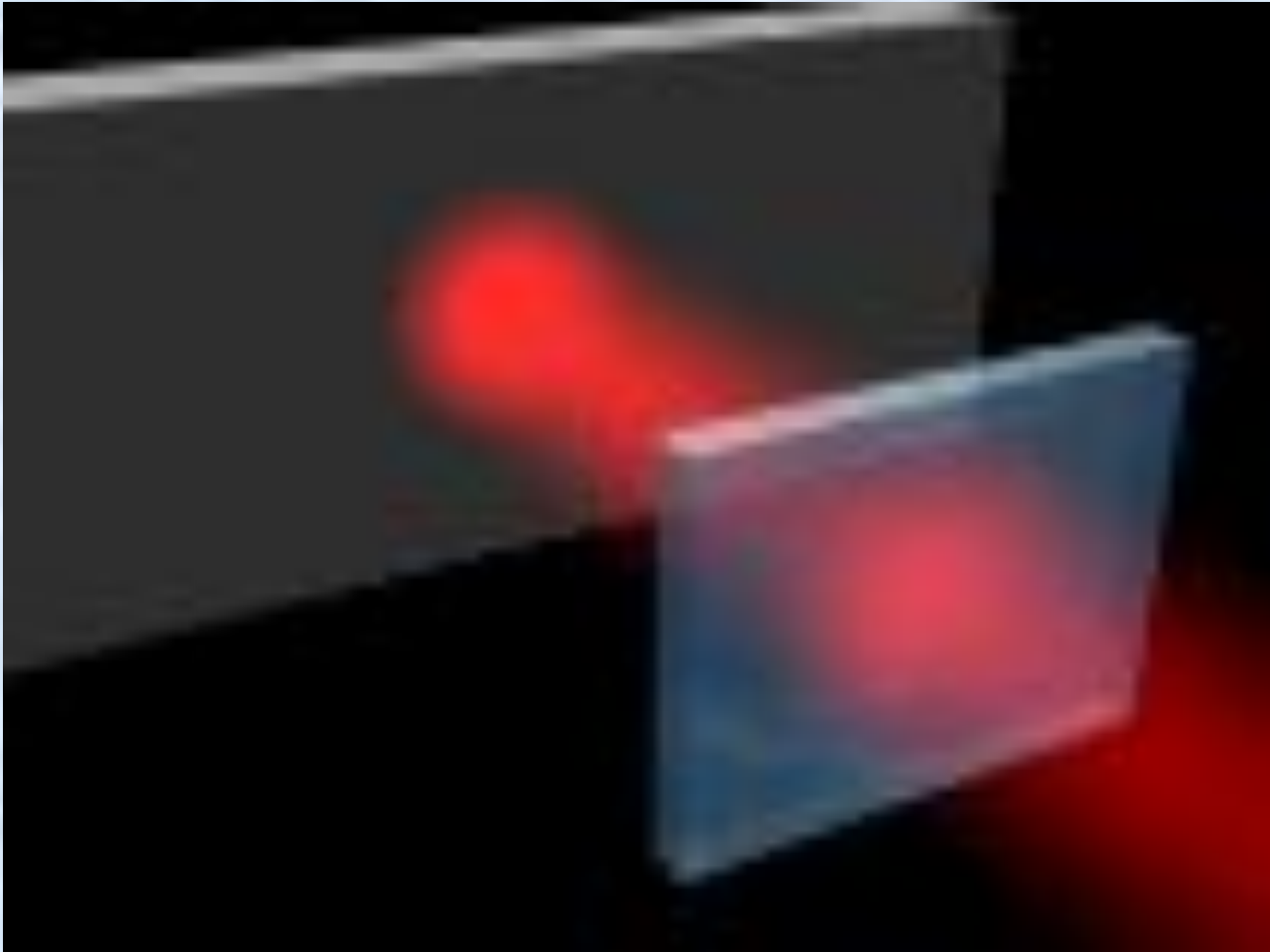
Якщо на шляху природного (неполяризованого) світла поставити два поляризатора (один з них в такому випадку називається **поляризатором**, інший – **аналізатором**), площини яких утворюють кут φ , то на виході інтенсивність світла складе

$$I = \frac{1}{2} I_{\text{прир}} \cos^2 \varphi$$

У випадку поглинання, закон Малюса набуде вигляду

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

Закон Малюса. Проходження лінійно поляризованої електромагнітної хвилі через поляризатор



МАЛЮС, ЕТЬЄН ЛУЇ



(1775–1812)

Французський фізик
та інженер

Народився у Парижі. Навчався на військового інженера, закінчив Політехнічну школу у Парижі. Служив у інженерних військах, брав участь в Єгипетській кампанії Наполеона (1798). З 1801 очолював будівництво фортифікаційних споруд у Страсбурзі, Парижі та Антверпені.

Малюс займався дослідженнями у області оптики. У 1808 відкрив поляризацію світла при відбиванні та закон зміни інтенсивності поляризованого світла (закон Малюса), а у 1811 – поляризацію світла при заломленні. Розробив теорію подвійного променезаломлення у кристалах.

Штучна анізотропія

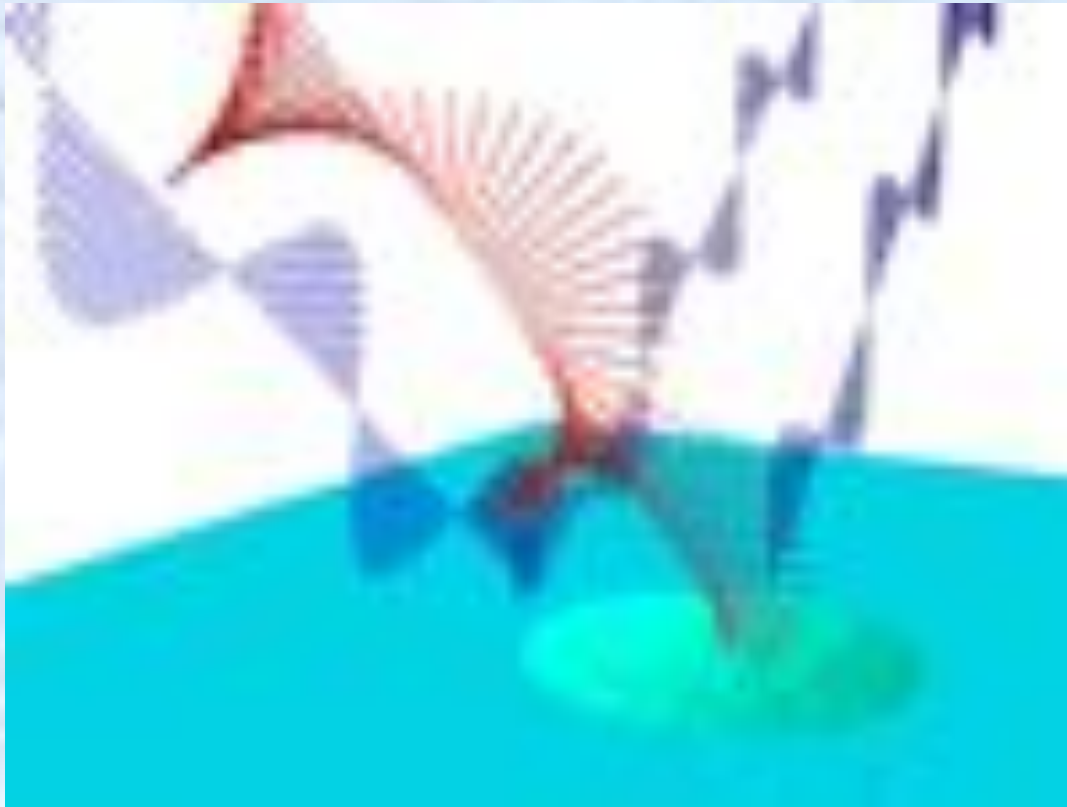
Ефект Керра – це явище виникнення подвійного променезаломлення у оптично ізотропних речовинах, наприклад рідинах і газах, під дією однорідного електричного поля. Відкритий Дж. Керром у 1875р.

Внаслідок ефекту Керра газ або рідина у електричному полі набуває властивостей одноосного кристала, оптична вісь якого спрямована вздовж поля.

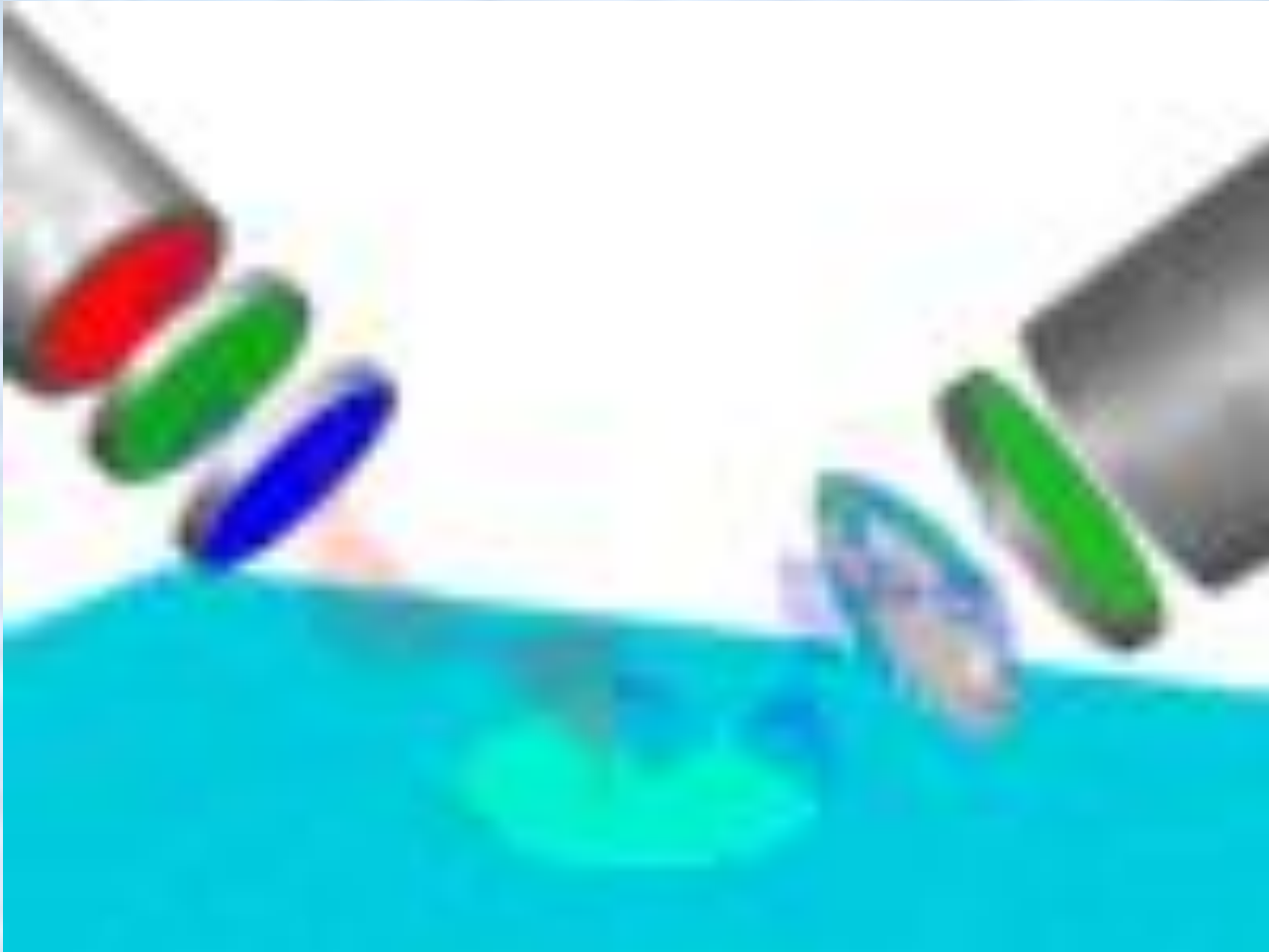
Фотопружність (п'єзоелектричний ефект) – явище виникнення анізотропії у ізотропному тілі під дією пружної деформації. Відкрите у 1818 р. Брюстером. При односторонньому розтягуванні або стисканні тіло стає подібним до одноосного кристалу з оптичною віссю, яка паралельна напрямку прикладеної сили.

Застосування поляризованого світла

При відбиванні світла від зразка змінюється його стан поляризації.
Це явище лежить в основі **еліпсометрії**.



Мікроскопія з використанням принципів еліпсометрії



Оптично активні речовини

Оптична активність це здатність середовища повертати площину поляризації оптичного випромінювання, яке через нього проходить. Вперше виявлена у 1811р. Д. Ф. Араго у кварці. У 1815 Ж. Б. Біо встановив оптичну активність чистих рідин (скипидару), а потім розчинів і парів багатьох, в основному органічних, речовин.

Оптично активні речовини (ОАР) - це середовища, які повертають площину поляризації плоско поляризованого світла.

Розрізняють 2 типи **OAP**. До **OAP** I-го типу відносять речовини, які є оптично активними у будь-якому агрегатному стані (цукор, камфора, винна кислота). **OAP** II-го типу є активними тільки у кристалічній фазі (кварц, кіновар)

У **OAP** I-го типу оптична активність обумовлена асиметричною будовою їх молекул, II-го типу — специфічною орієнтацією молекул (іонів) у елементарних комірках кристалу (асиметрією поля сил, які зв'язують частинки у кристалічній решітці). Кристали **OAP** завжди існують у двох формах — правій і лівій; при цьому решітка правого кристалу дзеркально-симетрична решітці лівого і її не можна просторово сполучити з нею.

Кристалічні речовини найкраще обертають площину поляризації світла у випадку, коли світло розповсюджується вздовж оптичної вісі кристалу. Кут повороту прямо пропорційний шляху, яких проходить світло в кристалі:

$$\varphi = \alpha d$$

α - стала обертання.

В розчинах кут залежить від довжини шляху світла в розчині і концентрації активної речовини :

$$\varphi = [\alpha] C d$$

$[\alpha]$ - питома стала обертання.

Виявляється, що у біологічних процесах наявні асиметричні агенти, що пов'язано зі специфічним і доки задовільно не поясненою властивістю живої природи будувати білки із лівих оптичних ізомерів амінокислот — 19 із 20 життєво важливих амінокислот є оптично активними.

Фізіологічна та біохімічна дія оптичних ізомерів, як правило, є абсолютно відмінною. Наприклад, білки, синтезовані штучним шляхом із D - амінокислот, не засвоюються організмом; бактерії зброджують лише один із ізомерів; L-нікотин у кілька разів є більш отруйним, ніж D-нікотин. Надзвичайний феномен переважної ролі тільки однієї із форм оптичних ізомерів у біологічних процесах може мати фундаментальне значення для з'ясування шляхів зародження та еволюції життя на Землі.

Значна поширеність у природі, активна участь у процесах життєдіяльності, висока чутливість методів досліджень, що ґрунтуються на дисперсії оптичної активності, пояснюють особливий інтерес до ОАР.

Оптична активність використовується у різних оптичних приладах (модуляторах, затворах і т. і.) а також у якості дуже точного метода визначення показників заломлення у даному середовищі. Такий метод є у 10000 раз точнішим за інші відомі способи вимірювання.

Виключно важливою є оптична активність біологічних молекул і, зокрема, білків, які складаються з амінокислот, з лівими гвинтами. Ця вибраність спіральної будови біомолекул до сих пір є нерозв'язаною загадкою.

- Поляриметрія** – це сукупність методів дослідження, які ґрунтуються на вимірюванні:
- степеня поляризації випромінювання (світла, радіохвиль);
 - оптичній активності речовин або їх розчинів.

Поляриметрію використовують для дослідження випромінювань, а також в аналітичній та структурній хімії.

Феноменологічну (макроскопічну) теорію оптичної активності запропонував у 1823 О.Ж.Френель, який її пояснив відмінністю показників заломлення ОАС для право- та лівополяризованих по колу світлових хвиль.

Штучна оптична активність

Ефект Фарадея

Це оптична активність, яка з'являється тільки при внесенні оптично неактивної речовини у магнітне поле. Знак обертання в ефекті Фарадея залежить як від магнітних властивостей середовища (чи є воно парамагнітним, діамагнітним або феромагнітним), так і від того, вздовж поля чи проти нього поширюється випромінювання. Це пов'язано із особливим характером магнітного поля.

Відмінність природної та штучної оптичної активності полягає в такому: коли лінійно-поляризоване світло, що пройшло через шар речовини з природної оптичною активністю відбивається і проходить через той самий шар у протилежному напрямку, то попередня поляризація світла відновлюється. В той час, як у середовищі зі штучною оптичною активністю у аналогічному досліді кут обертання подвоюється.