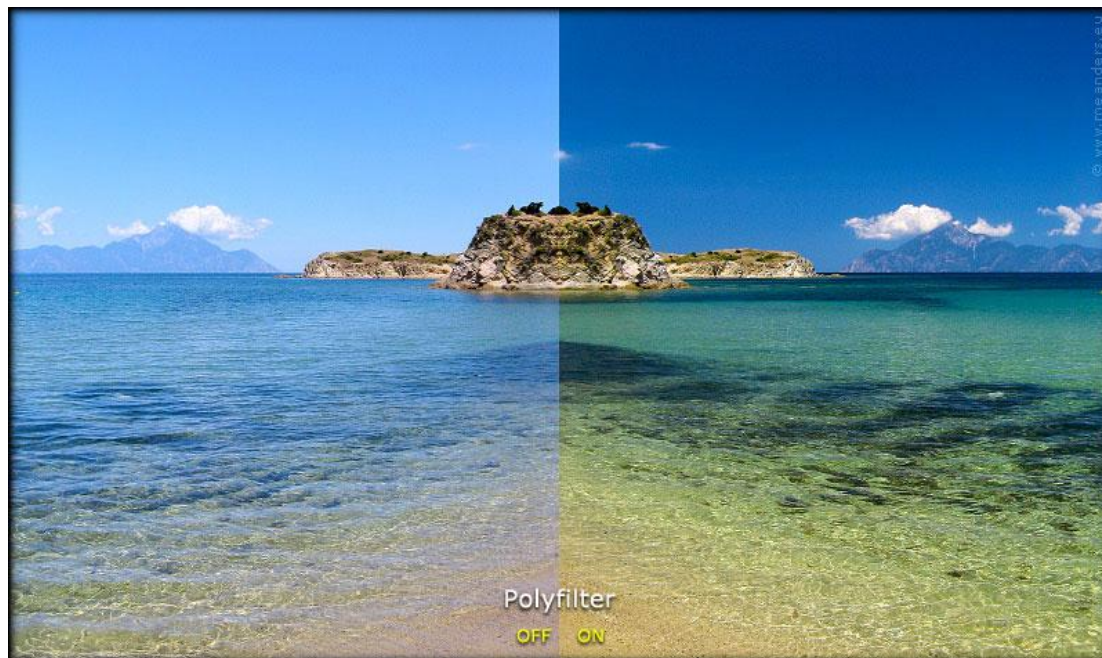


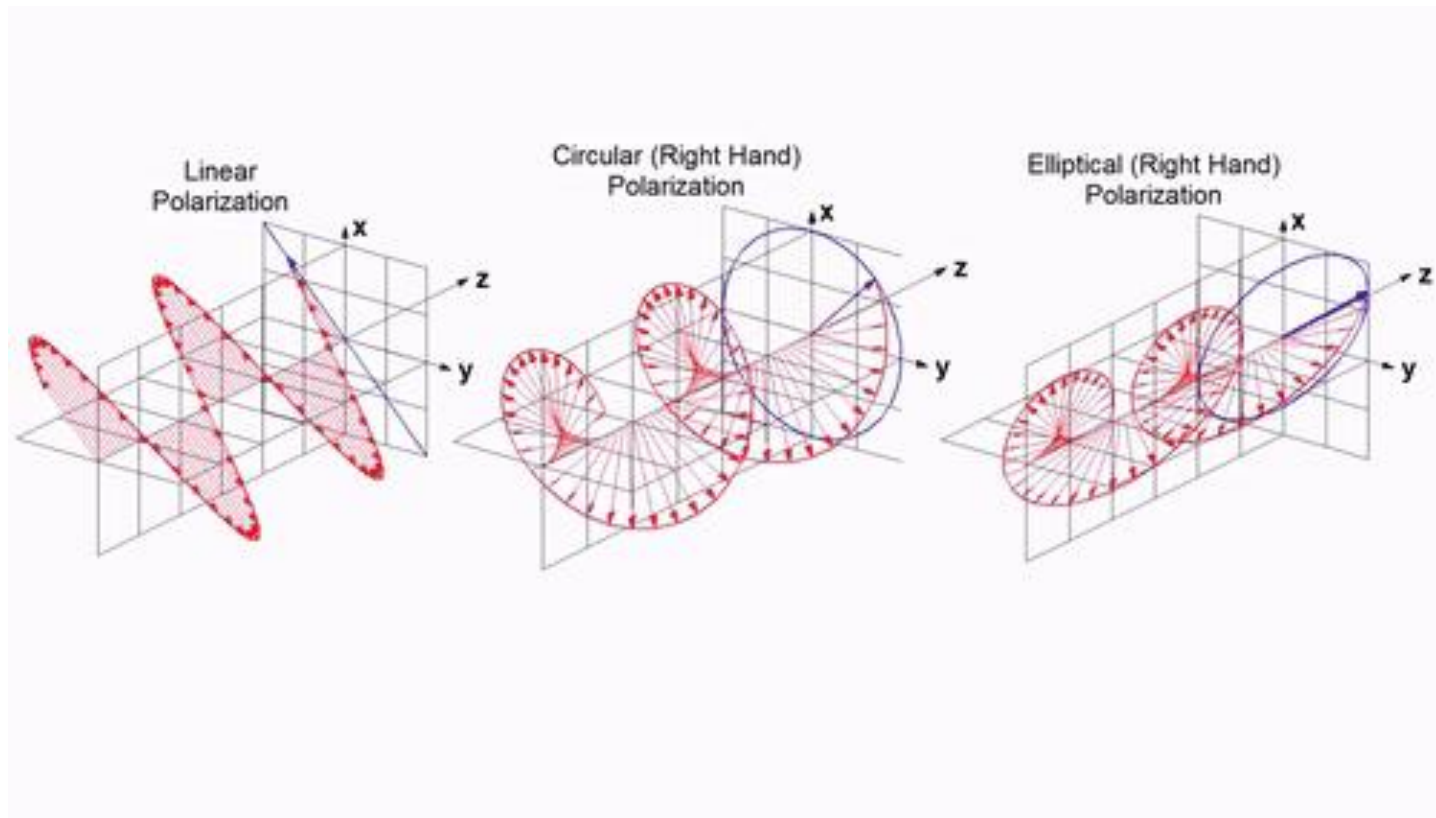
3.3. Поляризація

1. Природне і поляризоване світло. Види поляризації. Ступінь поляризації
2. Поляризатори і аналізатори. Закон Малюса
3. Поляризація відбитого та заломленого світла. Формули Френеля. Закон Брюстера
4. Подвійне променезаломлення. Елементи кристалооптики. Фазові пластинки.
5. Поляризація в природі. Застосування явища поляризації



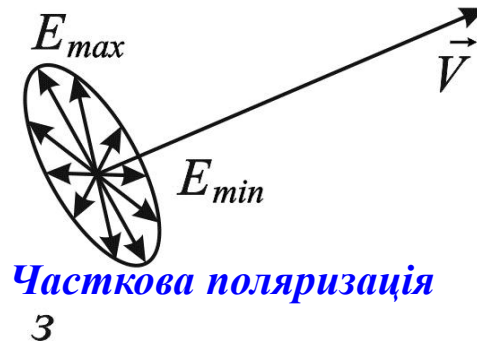
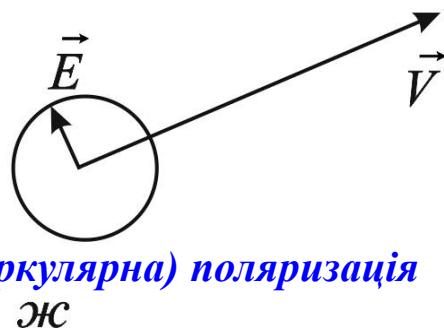
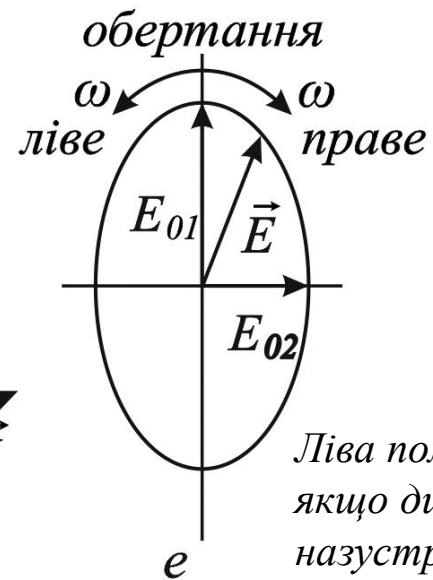
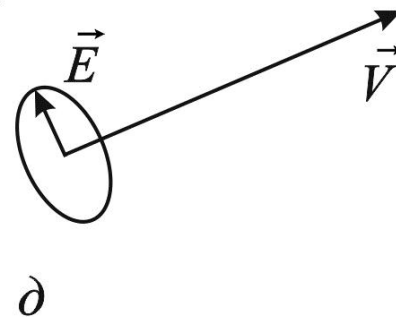
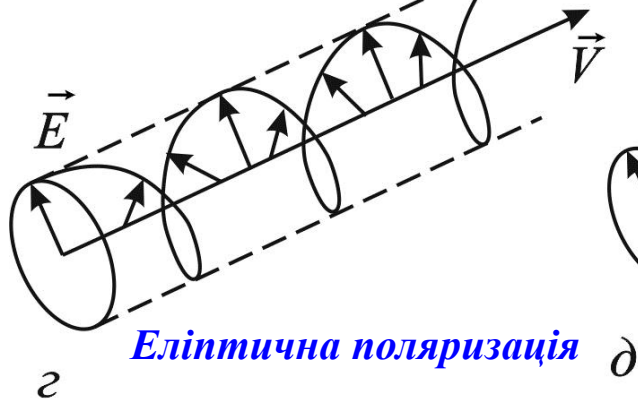
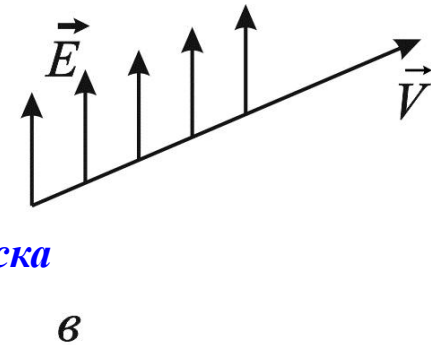
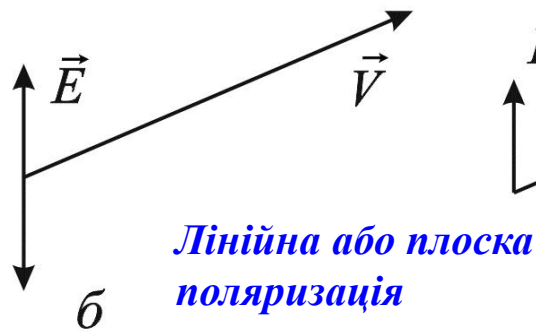
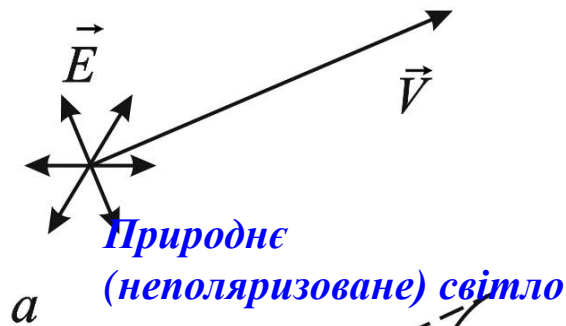
3.3. Поляризація

Види поляризації



3.3. Поляризація

Види поляризації



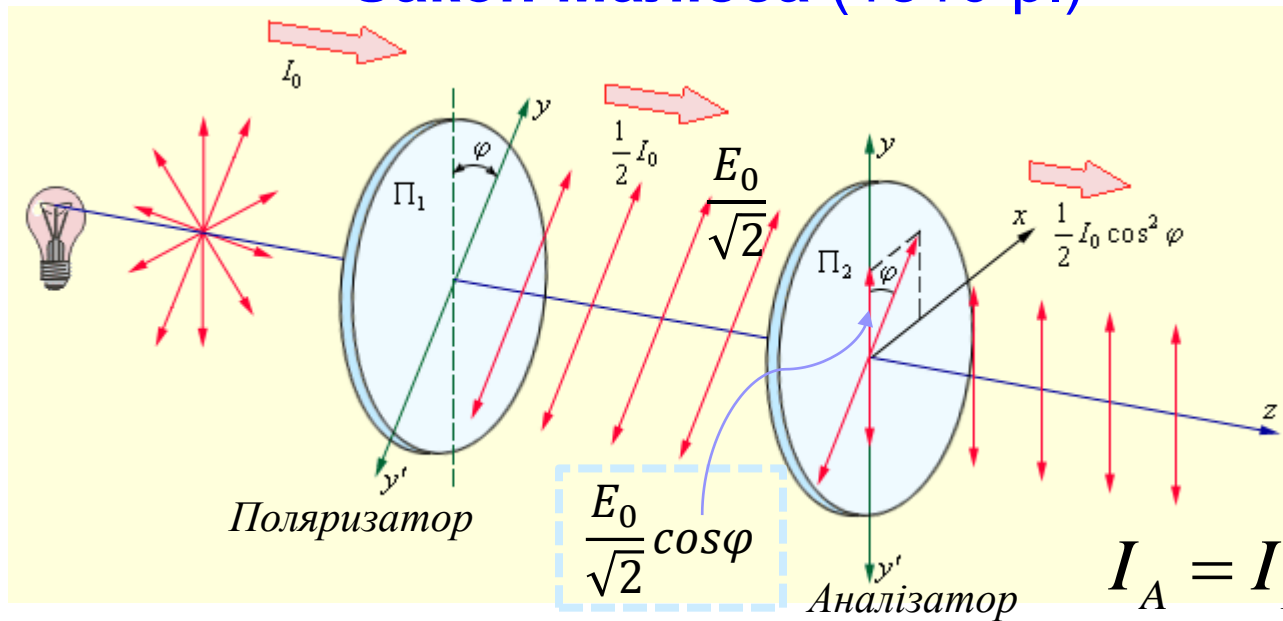
3.3. Поляризація

Природне світло. Поляризатори і аналізатори

Природне світло можна представити як суму двох некогерентних плоскополяризованих хвиль з взаємно ортогональними площинами поляризації

$$I_0 = I_{\parallel} + I_{\perp} \quad I_{\parallel} = I_{\perp} = \frac{1}{2} I_0 \quad \longrightarrow \quad E_{0\parallel} = E_{0\perp} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

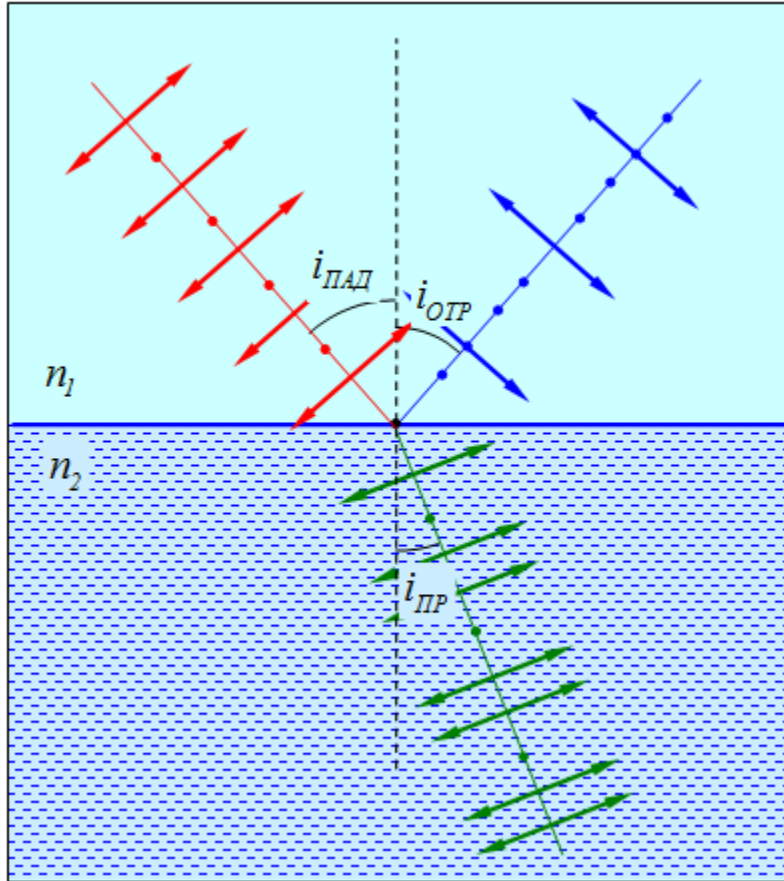
Закон Малюса (1810 р.)



$$I_A = \frac{1}{2} T_{\Pi} T_A I_{np} \cos^2 \varphi$$

3.3. Поляризація

Поляризація відбитого та заломленого світла



$$R_{\perp} = \left(\frac{\sin(\varepsilon_1 - \varepsilon_2')}{\sin(\varepsilon_1 + \varepsilon_2')} \right)^2 \quad R_{\parallel} = \left(\frac{\operatorname{tg}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2')}{\operatorname{tg}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2')} \right)^2$$

R_{\perp} - часткові енергетичні коефіцієнти відбиття для перпендикулярної та паралельної складової світла
 R_{\parallel}

Ступінь поляризації відбитого світла

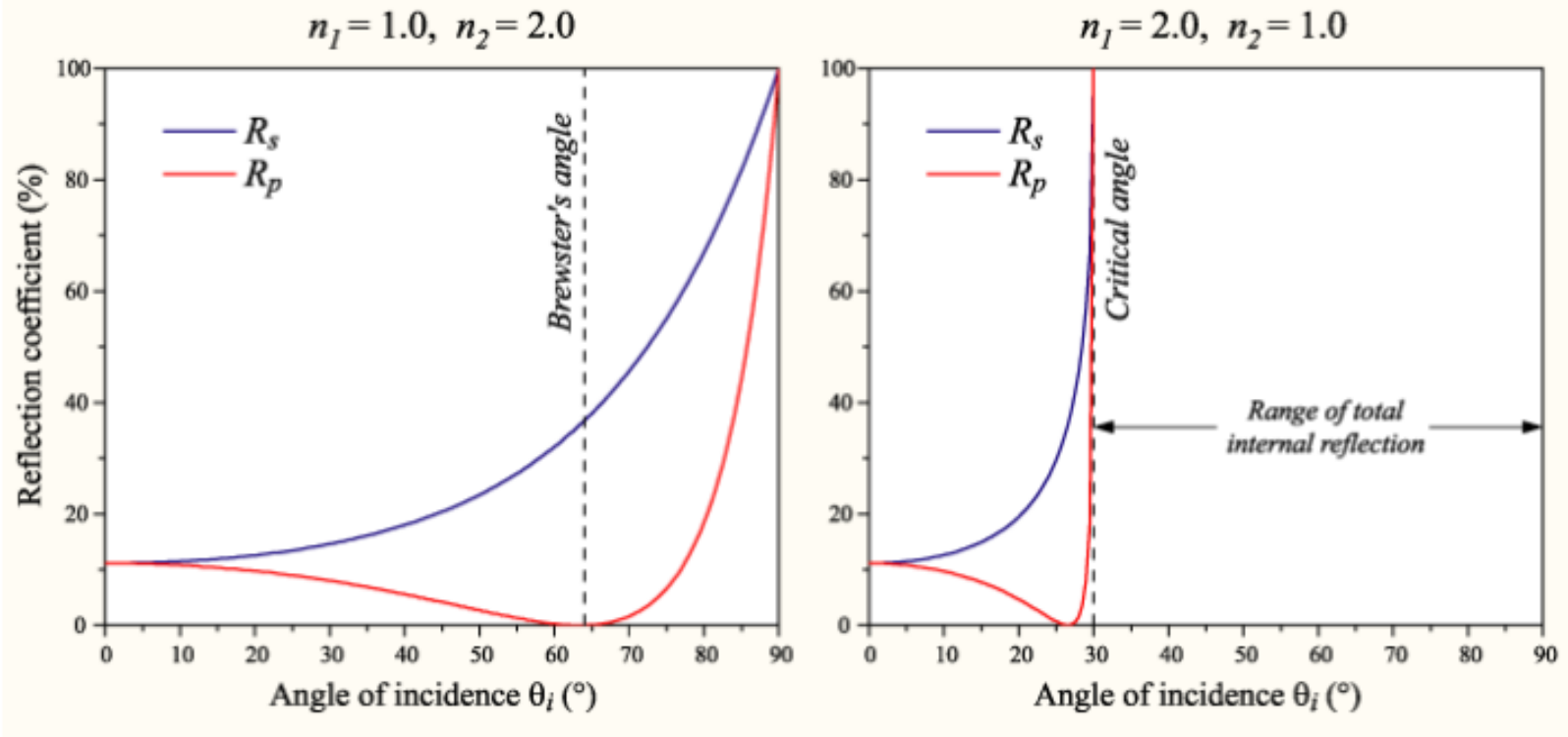
$$P_R = \frac{I_{\max}^R - I_{\min}^R}{I_{\max}^R + I_{\min}^R} = \frac{I_{\perp}^R - I_{\parallel}^R}{I_{\perp}^R + I_{\parallel}^R} = \frac{R_{\perp} - R_{\parallel}}{R_{\perp} + R_{\parallel}}$$

Ступінь поляризації світла, яке пройшло

$$P_D = \frac{I_{\max}^D - I_{\min}^D}{I_{\max}^D + I_{\min}^D} = \frac{I_{\perp}^D - I_{\parallel}^D}{I_{\perp}^D + I_{\parallel}^D} = \frac{R_{\perp} - R_{\parallel}}{2 - (R_{\perp} + R_{\parallel})}$$

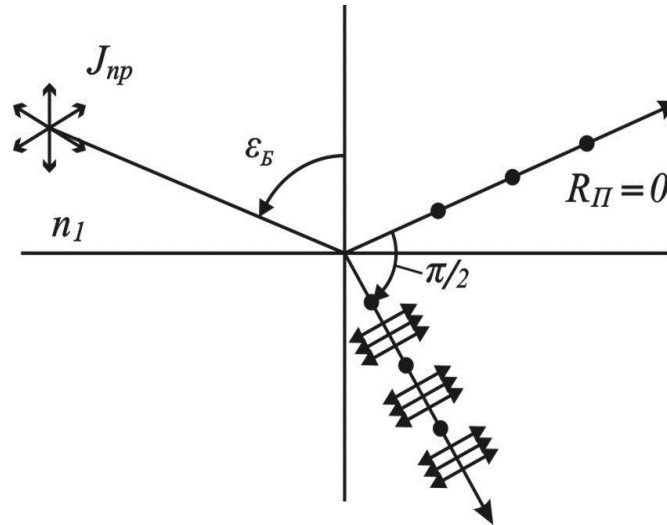
3.3. Поляризація

Коефіцієнти відбиття світла на границі двох середовищ



3.3. Поляризація

Закон Брюстера



$$\varepsilon_B = \arctg\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

$$\varepsilon_B + \varepsilon_2' = 90^\circ$$

При куті падіння природного світла, рівному **куту Брюстера** (куту повної поляризації), **відбитий промінь повністю лінійно поляризований** в площині, **перпендикулярній площині падіння**, а заломлений промінь має найбільшу ступінь часткової поляризації з переважним напрямом, що паралельний площині падіння

$$R_{\perp B} = \sin^2(\varepsilon_B - \varepsilon_2'),$$

$$R_{\parallel B} = 0,$$

$$R = \frac{1}{2} R_{\perp B},$$

$$P_R = 1 \text{ и } P_D = \frac{R_{\perp}}{2 - R_{\perp}}$$

3.3. Поляризація

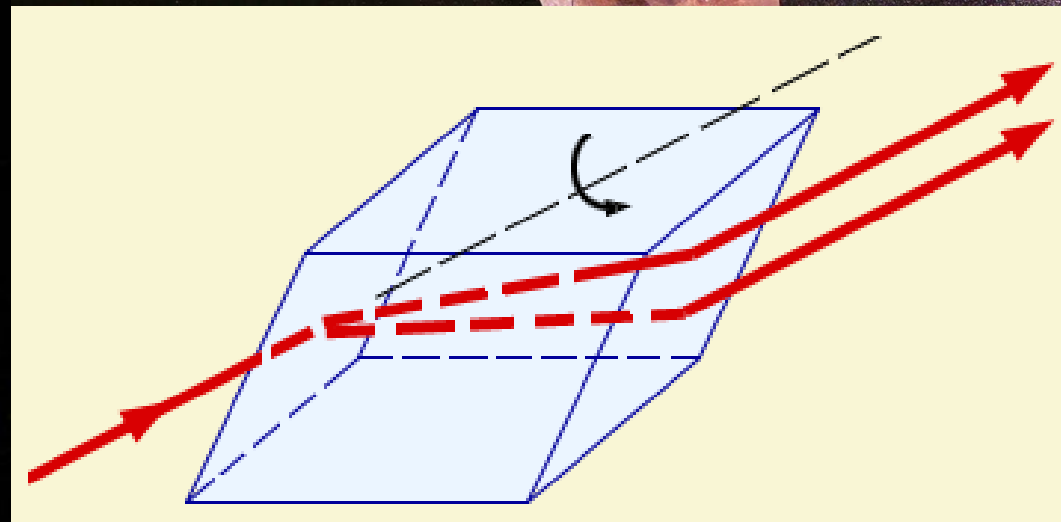
Приклад 1: Під яким кутом до горизонту повинно знаходитися Сонце, щоб його промені, відбиті від поверхні озера, були найбільше поляризовані?

$36^{\circ}56'20''$;

Приклад 2: Вітрове скло й фари автомашин забезпечуються поляроїдними плівками. Як повинні бути орієнтовані площини пропускання цих плівок, щоб водій міг добре бачити дорогу та не засліплюватися світлом фар зустрічних машин?

3.3. Поляризація

Подвійне променезаломлення



3.3. Поляризація

Подвійне променезаломлення

Властивості звичайного та незвичайного променів:

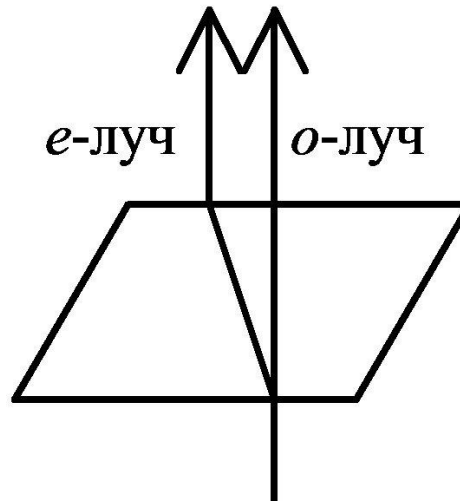
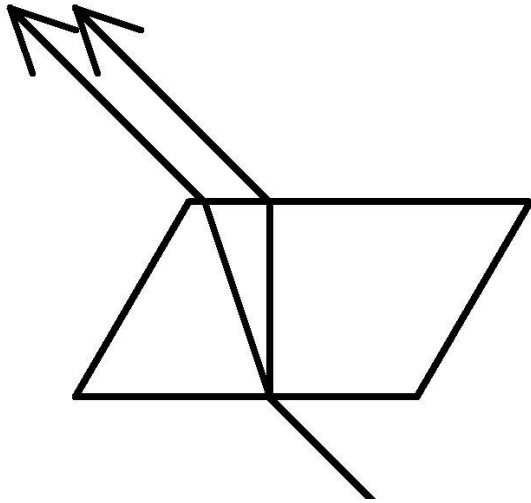
- ✓ обидва промені утворюються в точці падіння на вхідній грані кристалу; всередині кристалу промені йдуть вздовж різних напрямів, а на виході з кристалу – паралельно один одному;
- ✓ обидва промені лінійно поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах; звичайний – у площині, що перпендикулярна до оптичної осі кристалу (O'-O');

незвичайний – у площині, що паралельна оптичній осі кристалу, тобто $\vec{E}_0 \perp \vec{E}_e$

- ✓ для звичайного променя чинний закон заломлення Снелліуса $\sin \varepsilon_1 / \sin \varepsilon_{20}' = n_0 = const$
для незвичайного – ні, $n_e(\varepsilon_1) \neq const$
- ✓ всередині кристалу звичайний та незвичайний промінь розповсюджуються з різними швидкостями $v_0 = \frac{c}{n_0} = const$ $v_e(\varepsilon_1) = \frac{c}{n_e(\varepsilon_1)} \neq const$
- ✓ у напрямі, що паралельний оптичній осі кристала (O'-O'), обидва промені розповсюджуються з однаковою швидкістю $v_0 = v_e(\varepsilon_1)$ та не розіляються один з одним, $n_0 = n_e(\varepsilon_1)$
- ✓ У напрямі, перпендикулярному до оптичної осі кристалу, обидва промені також не розділюються просторово, але мають найбільшу різницю швидкості розповсюдження та найбільшу різницю показників заломлення, що називається показником двопроменеаломлення; $n_e(\varepsilon_1) - n_0 = b$

3.3. Поляризація

Подвійне променезаломлення



- якщо промінь світла, що падає на кристал, є **природнім**, то звичайний та незвичайний промені **некогерентні** між собою, а їх інтенсивності визначаються як

$$I_o = \frac{1}{2} T_o I_{np}$$

де T_o та T_e – коефіцієнти пропускання кристалом відповідно звичайного та незвичайного променів

$$I_e = \frac{1}{2} T_e I_{np}$$

- якщо промінь світла, що падає на кристал, **лінійно поляризований**, то звичайний та незвичайний промені **когерентні** між собою, а їх інтенсивності

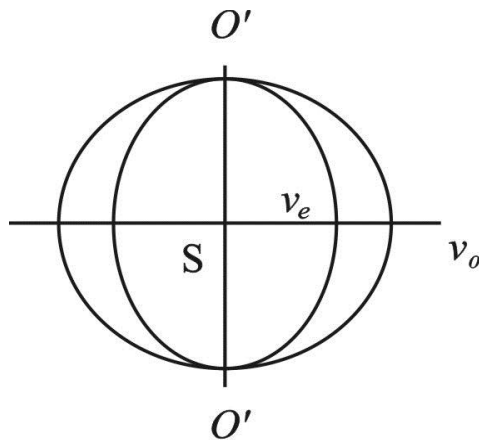
$$I_e = I_1 T_e \cos^2 \alpha$$

$$I_o = I_1 T_o \sin^2 \alpha$$

α - кут між площиною поляризації променя, що падає, та оптичною віссю кристалу ($O'-O$)

3.3. Поляризація

Подвійне променезаломлення



а)

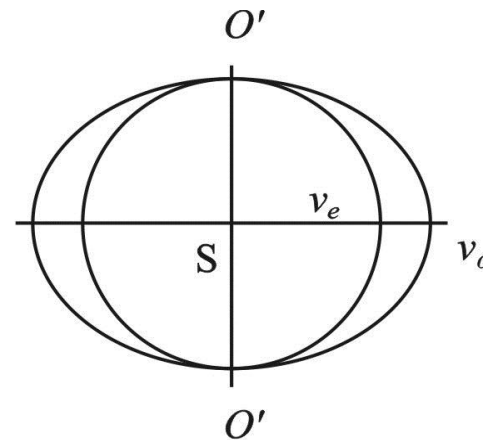
Кварц

$$n_e = 1.55; n_o = 1.54$$

$$b = n_e - n_o; b = 0.01$$

Оптично додатній кристал

$$\varepsilon_{\perp} < \varepsilon_{\parallel}$$



б)

Ісландський шпат

$$n_e = 1.486; n_o = 1.558;$$

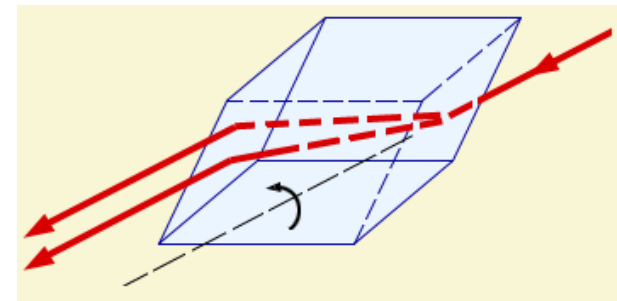
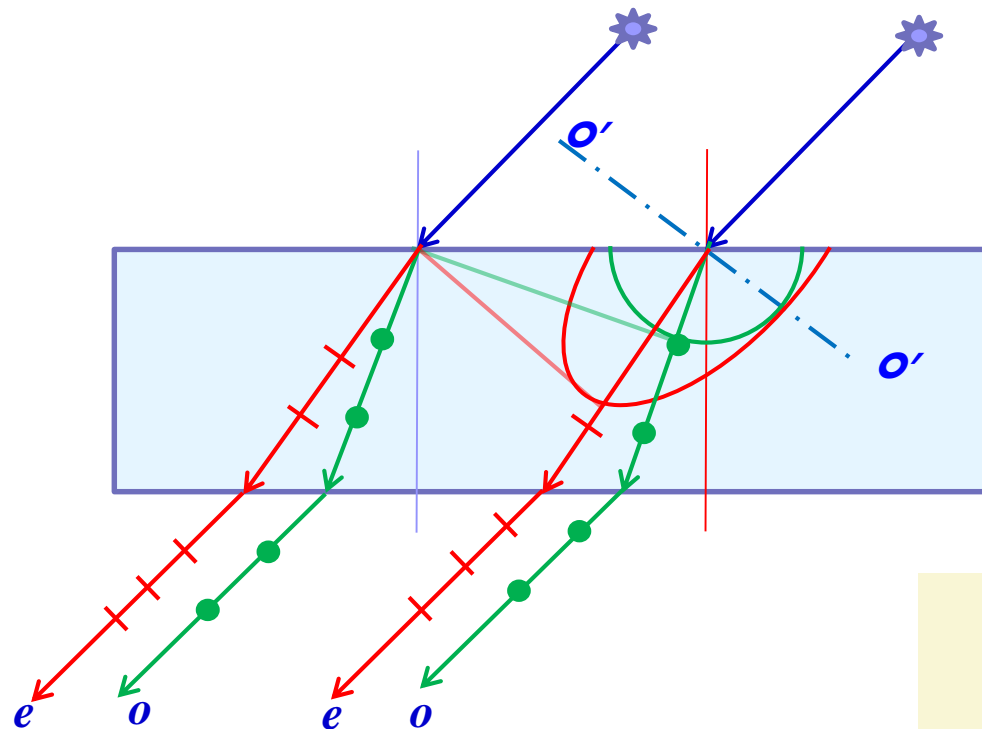
$$b = n_e - n_o; b = -0.172$$

Оптично від'ємний кристал

$$\varepsilon_{\perp} > \varepsilon_{\parallel}$$

3.3. Поляризація

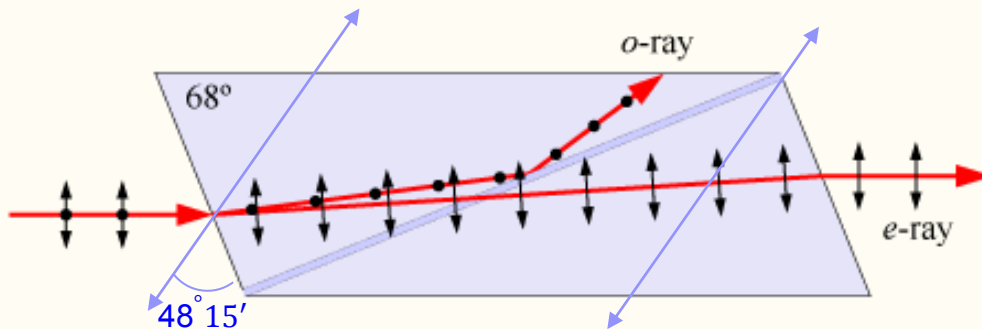
Подвійне променезаломлення



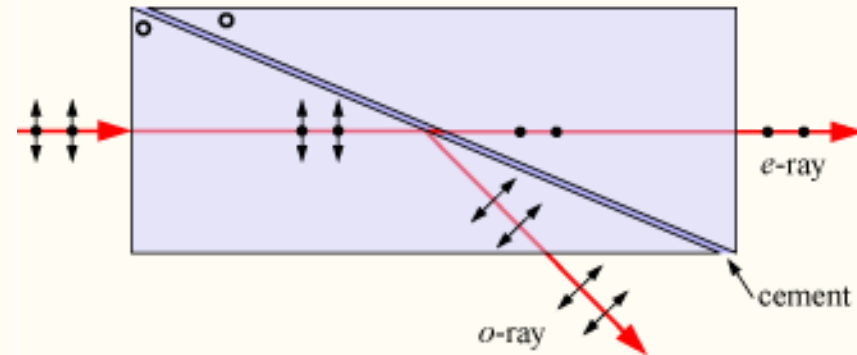
Побудова Гюйгенса для заломлення у оптично від'ємному кристалі

3.3. Поляризація

Поляризаційні призми

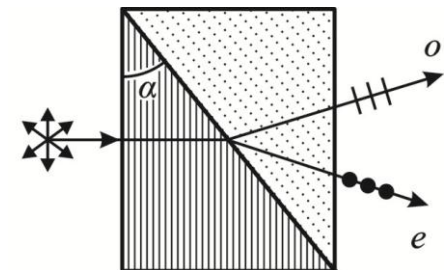


Призма Ніколя



Призма Глана-Томпсона

Призма Ніколя (шотл. вчений 1768—1851) є подвійною призмою з ісландського шпату, склеєну канадським бальзамом, $n = 1,55$.

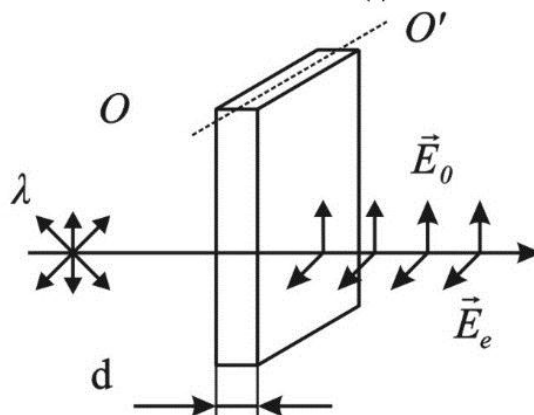
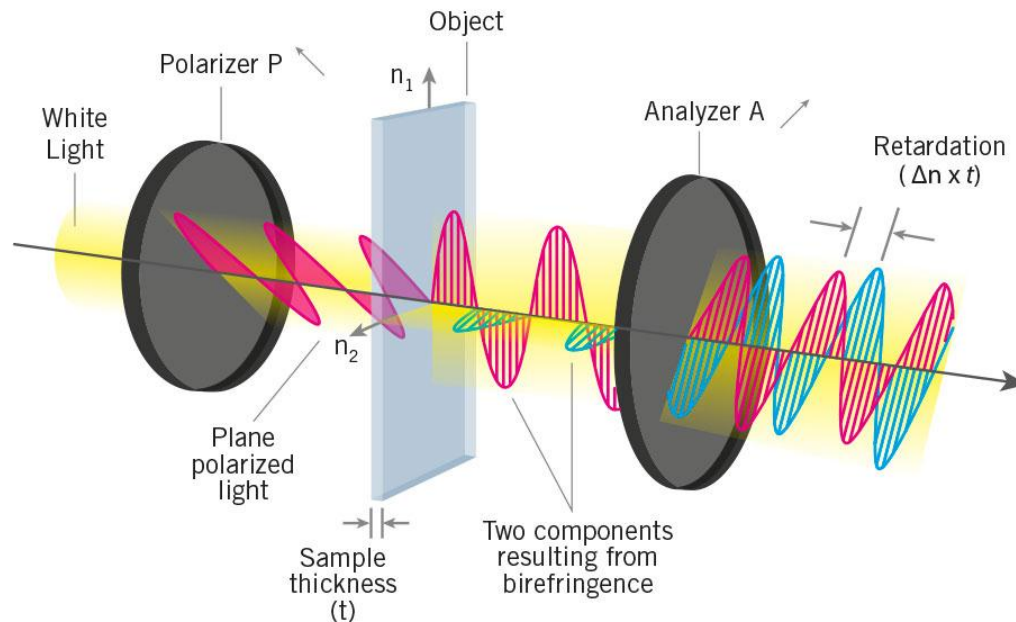


Призма Воластона

3.3. Поляризація

Подвійне променезаломлення

Фазові пластинки

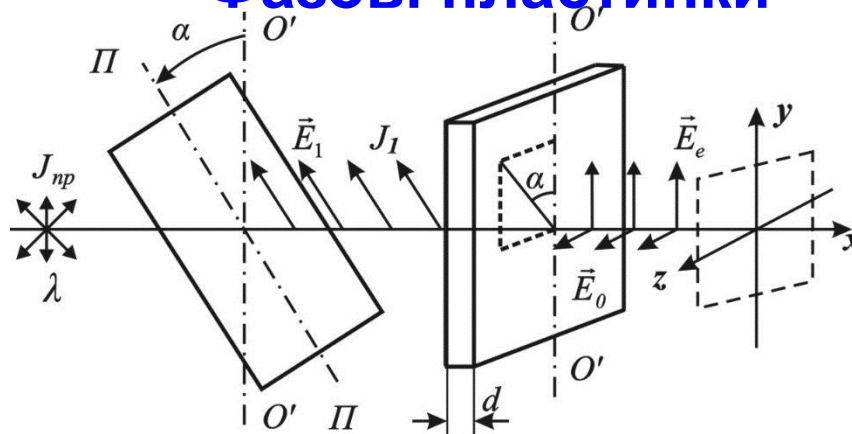


$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o) d$$

3.3. Поляризація

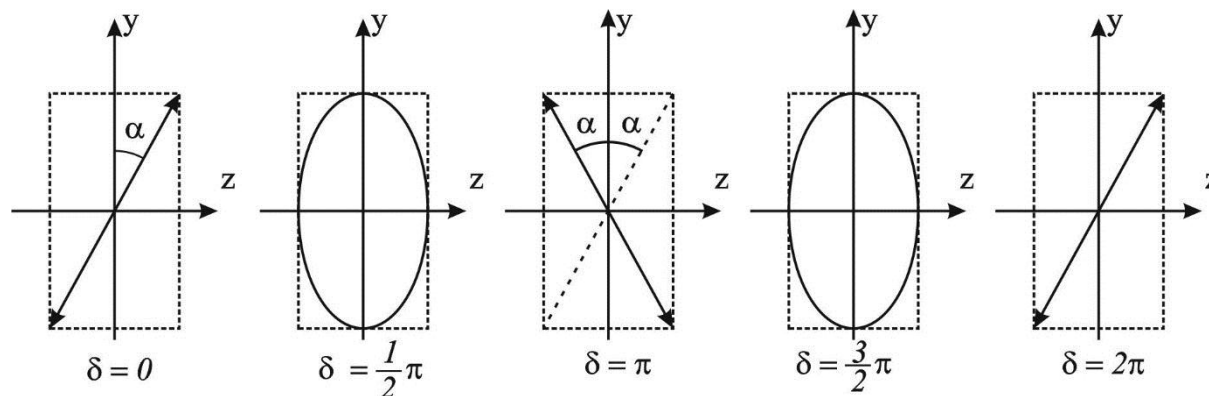
Подвійне променезаломлення

Фазові пластинки



В результаті додавання двох взаємно перпендикулярних світлових коливань однієї частоти ω з різницею фаз δ утворюється еліптично поляризоване світло з рівнянням еліпсу у основі

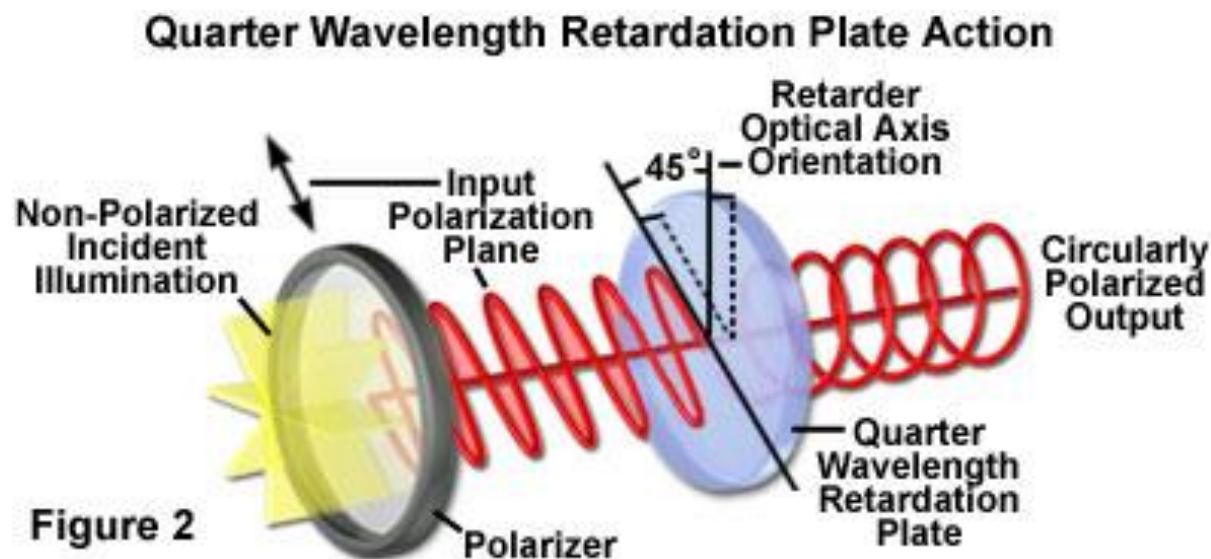
$$\frac{y^2}{E_e^2} + \frac{z^2}{E_0^2} - \frac{2yz}{E_e E_0} \cos \delta = \sin^2 \delta \quad \delta = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_0) d$$



3.3. Поляризація

Подвійне променезаломлення

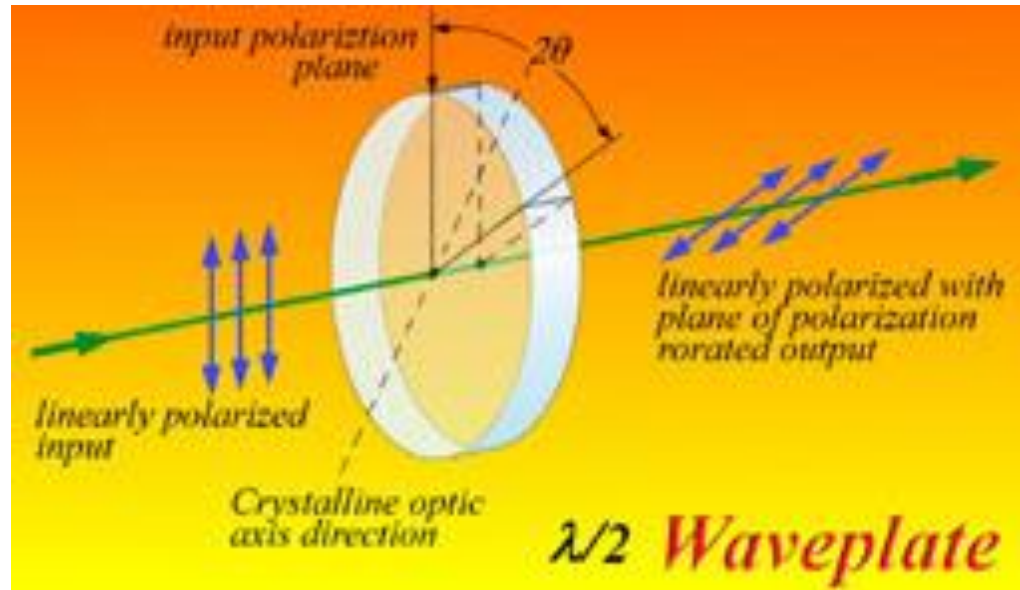
Фазові пластинки



3.3. Поляризація

Подвійне променезаломлення

Фазові пластинки



3.3. Поляризація

Штучна анізотропія

(це подвійне променезаломлення, яке виникає у ізотропних прозорих речовинах під дією пружних деформацій, електричного та магнітного полів)

Ефект фотопружності $(n_e - n_o)' = k\sigma$

σ - внутрішнє напруження,
викликане деформацією

Ефект Керра (1875 р.)

$$(n_e - n_o)' = B\lambda E^2$$

Виникає під дією сильного поперечного електричного поля в деяких ізотропних рідинах (нітробензол)

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o)' l = 2\pi b E^2 l$$

Ефект Поккельса

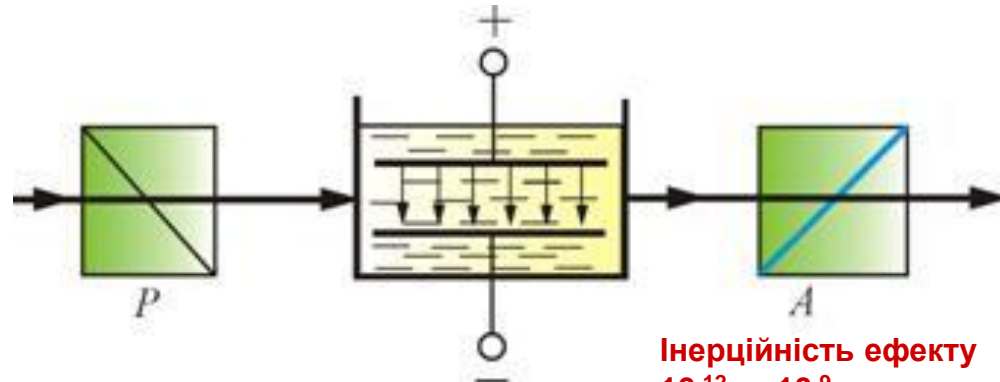
$$(n_e - n_o)' = zE$$

Виникає під дією поперечного (або поздовжнього) електричного поля в деяких ізотропних кристалах

Ефект Коттона - Мутона

$$(n_e - n_o)' = C\lambda H^2$$

Виникає під дією сильного поперечного магнітного поля в деяких ізотропних рідинах (нітробензол, ацетон)



Інерційність ефекту
 $10^{-12} - 10^{-9}$ с

3.3. Поляризація

Обертання площини поляризації

Ефект Фарадея

Штучне обертання площини поляризації у прозорих оптично неактивних речовинах у поздовжньому магнітному полі

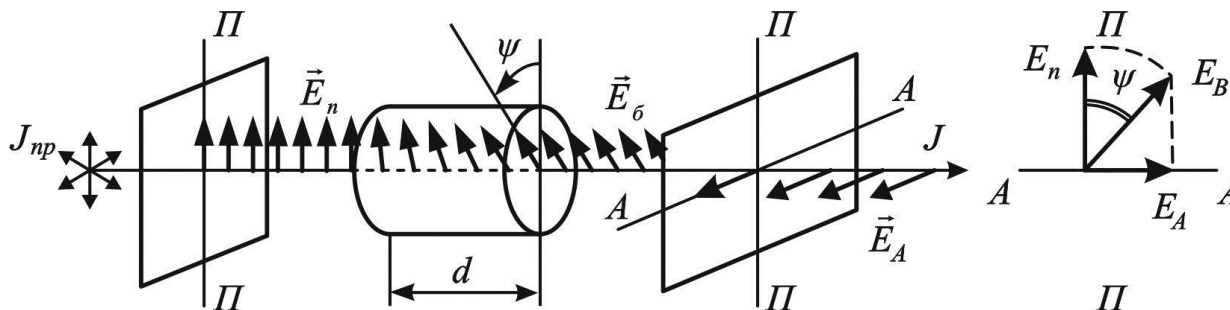
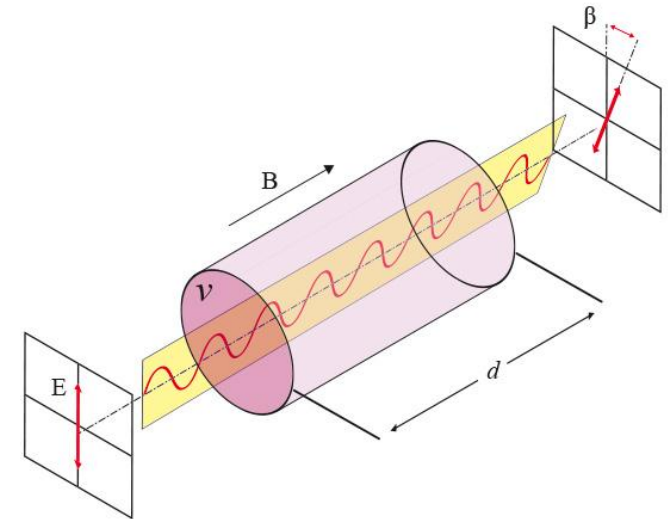
$$\psi = VNd$$

V – питоме магнітне обертання (стала Верде)

Природне обертання (закручення) площини поляризації

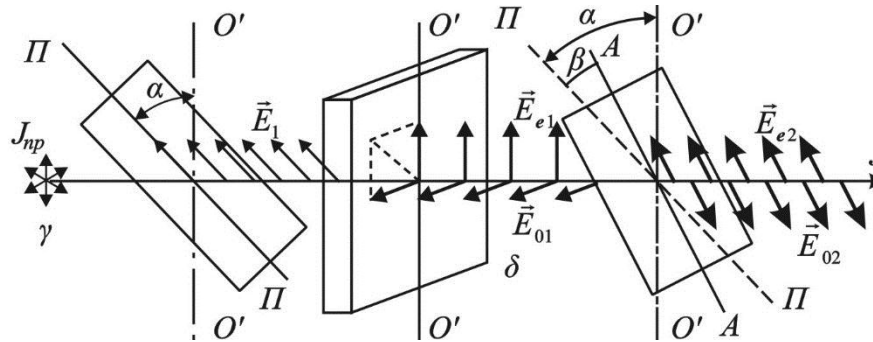
$$\psi = \alpha d$$

Виникає при проходженні лінійно поляризованого світла крізь прозорі оптично активні речовини (кварц)



3.3. Поляризація

Інтерференція поляризованого світла



поляризатор і аналізатор паралельні ($\beta = 0$):

$$I_{\parallel} = \frac{1}{2} I_{np} \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

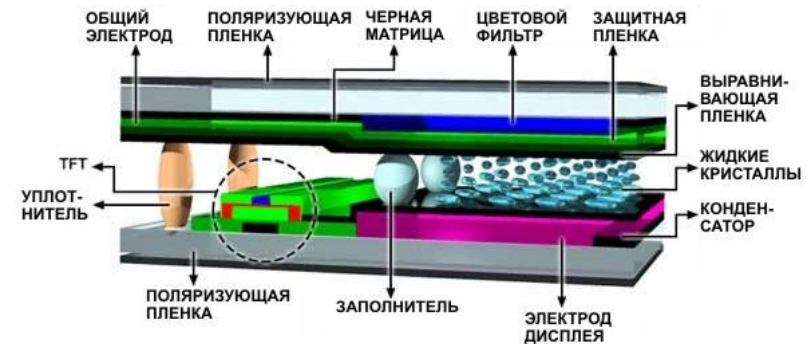
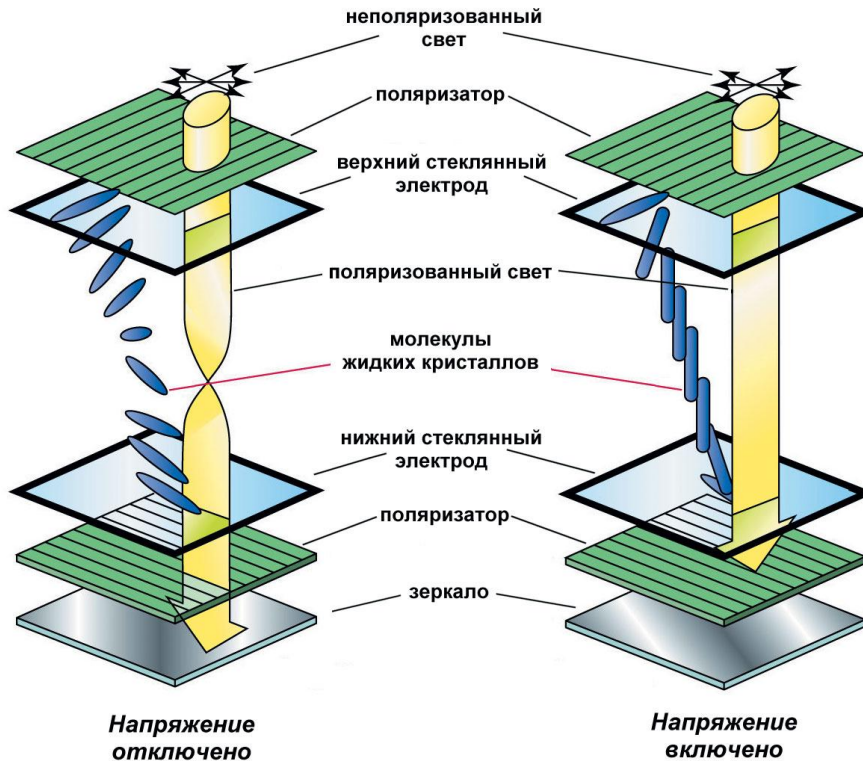
поляризатор і аналізатор схрещені ($\beta = 90^\circ$):

$$I_{\perp} = \frac{1}{2} I_{np} \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

3.3. Поляризація

Застосування поляризації

LCD Рідкокристалічні дисплеї



$$I_{\perp} = \frac{1}{2} I_{np} \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

3.3. Поляризація

Поляризація в природі

Людина страждає «поляризаційною сліпотою», бджоли розрізняють поляризацію світла майже так само добре, як колір або яскравість.

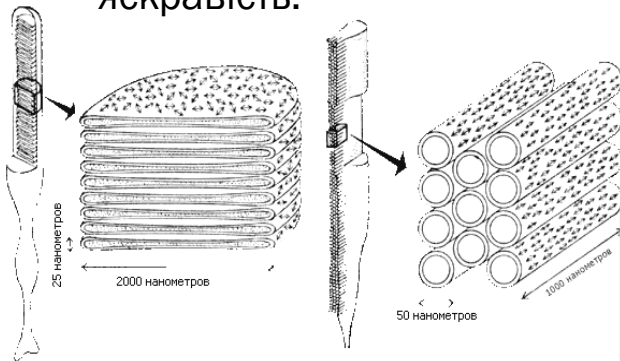


Схема будови зорових рецепторів людини (ліворуч) і членистоногих (праворуч). У людини молекули родопсина розташовані безладно в складках внутрішньоклітинної мембрани, у членистоногих - вздовж клітини, акуратними рядами

1.Деякі види жуків, що володіють металевим блиском, перетворюють світло, відбите від їх спинки, в поляризоване по колу

2.Поляризованість світла, що йде від синього неба, деякі можуть помітити і простим оком. **Поляризованість відбитого світла, відблисків**, наприклад, на поверхні води або скляних вітрин.



Haidingers Brush

Фігура
Гайдінгера

За даними відомого радянського фізика академіка С.І. Вавілова, цією здатністю володіють 25 ... 30% людей, хоча багато хто з них про це не підозрюють. При спостереженні поверхні, що випромінює поляризоване світло (наприклад, того ж блакитного неба), такі люди можуть помітити всередині поля зору слабо-жовту смужку з закругленими кінцями. Ще менш помітні блакитні плямки в її центрі і по краях. Це так звана фігура Гайдінгера, вона відкрита німецьким фізиком Гайдінгером в 1845 році.