

Polarización 2da parte

Luz natural

Polaroids

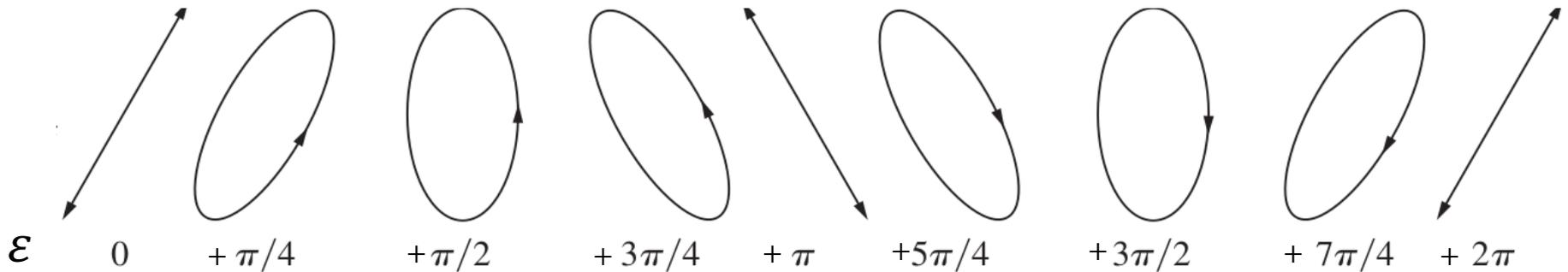
Dicroismo

Birrefringencia

En el capítulo anterior...

Aprendimos a describir matemáticamente un **estado de polarización** arbitrario

$$\vec{\psi}(z, t) = \underbrace{E_{0x} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z - w t + \varphi_x\right)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z - w t + \varphi_x + \varepsilon\right)}_{E_y} \hat{y}$$

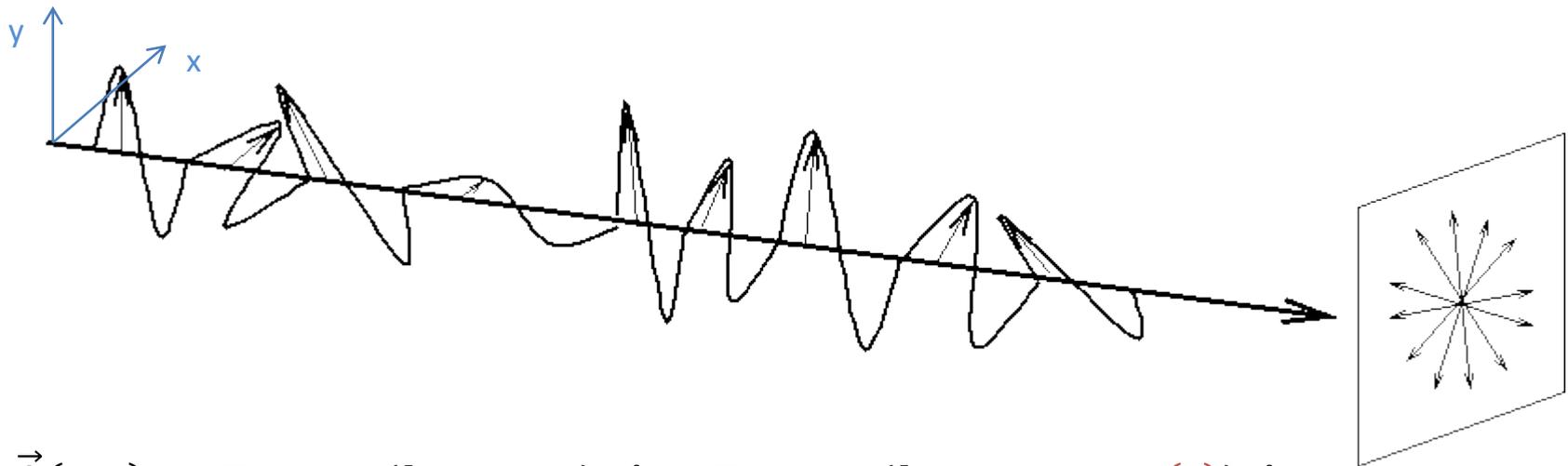


Curva paramétrica de una elipse que satisfacen E_x y E_y

$$\rightarrow \left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)\left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)\cos\varepsilon = \sin^2\varepsilon$$

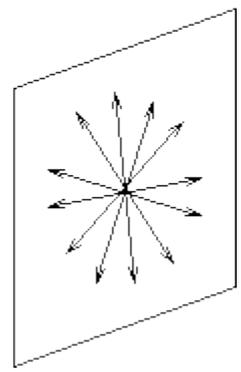
Luz natural

- La verdad es que una propagación armónica, no describe adecuadamente la radiación **emitida** por fuentes naturales de luz
- Una fuente de luz natural esta compuesta por un enorme número de átomos emisores con orientaciones al azar.
- Cada emisor radía un tren de ondas polarizado por 10^{-8} seg
- Nuevos trenes de ondas le siguen, cada uno de ellos con una polarización diferente
- Luz natural \leftrightarrow luz no-polarizada \leftrightarrow luz aleatoriamente polarizada



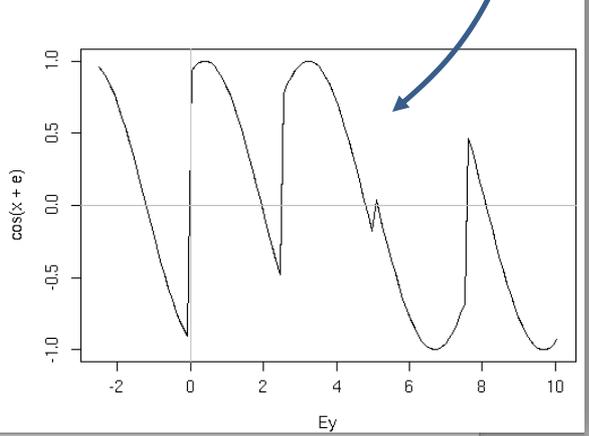
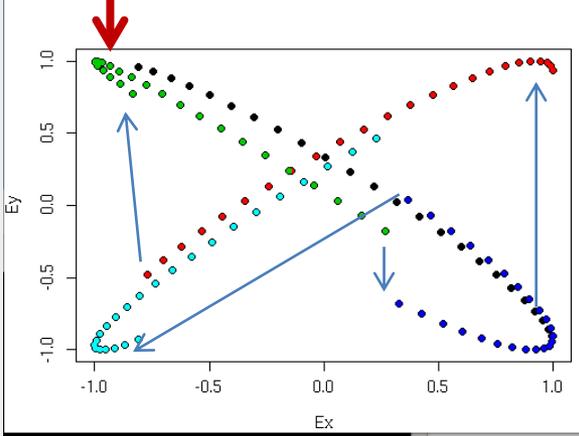
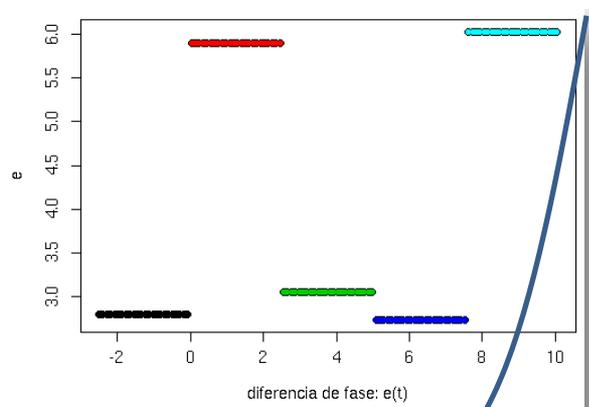
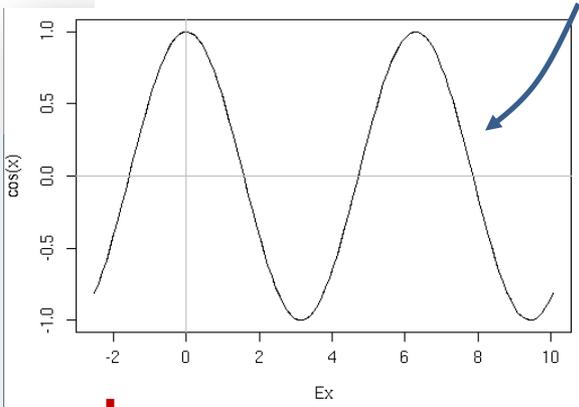
$$\vec{\psi}(z, t) = \underbrace{E_{0x} \cos(kz - w t)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos(kz - w t + \epsilon(t))}_{E_y} \hat{y}$$

Función que varía aleatoriamente en el tiempo

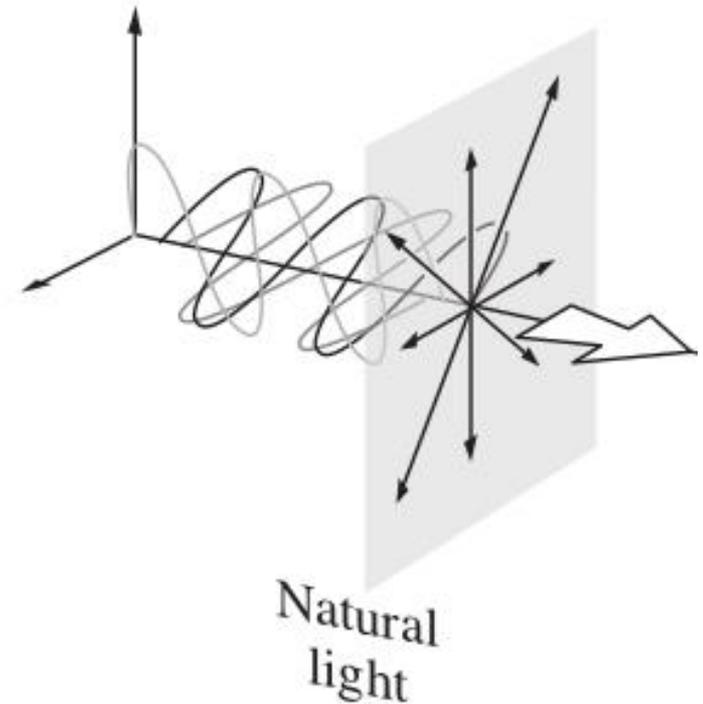


$$\vec{\psi}(z, t) = \underbrace{E_{0x} \cos(kz - \omega t)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos(kz - \omega t + \epsilon(t))}_{E_y} \hat{y}$$

Función que varía aleatoriamente en el tiempo



Luz natural



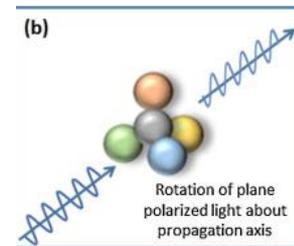
- Puede suceder que la luz natural en un entorno posea también una contribución de una componente polarizada. Se modela como : LN + EP

$$\vec{E}(z, t) = E_{0x} [\cos(kz - \omega t) \hat{x} + \cos(kz - \omega t + \varepsilon(t)) \hat{y}] + E'_{0x} \cos(kz - \omega t) \hat{x} + E'_{0y} \cos(kz - \omega t + \varepsilon') \hat{y}$$

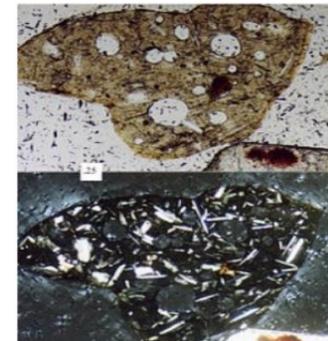
Y entonces...?

Aplicaciones tecnológicas:

- Navegación vikinga (?)
- LCD (Liquid Crystal Displays)
- Lentes Anti-brillo
- Cine 3D
- Comunicaciones
 - 2 polarizaciones pueden compartir la misma banda de frecuencia
 - Etc...
- Identificación de minerales
- Quiralidad de compuestos orgánicos
- Espectroscopia infra-roja
- Detección de stress en materiales.



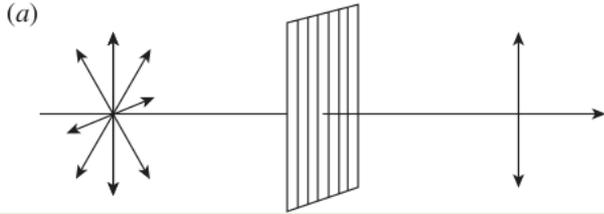
Microtubules in A Dividing Plant Cell



Polarizando (i.e. favoreciendo direcciones)

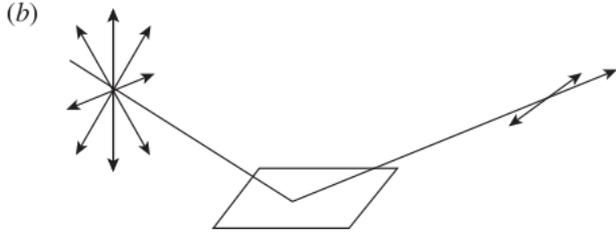
Absorviendo componentes

Dicroísmo

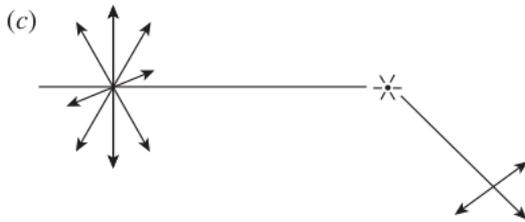


Direcciones de emision *prohibidas*

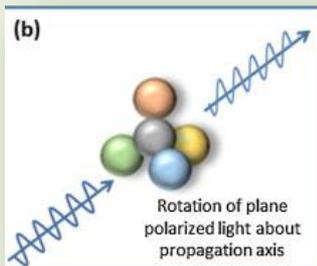
Reflexion



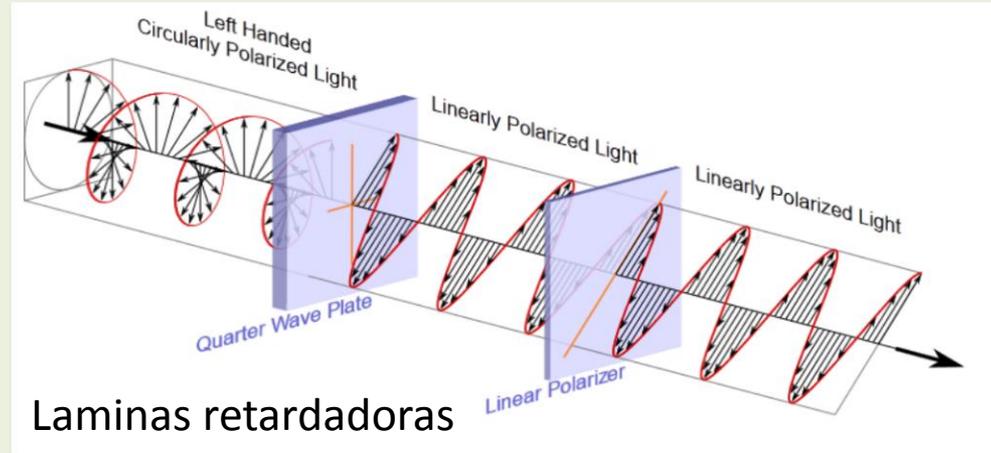
Scattering



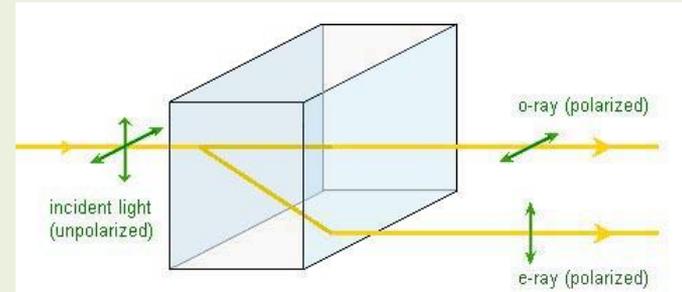
Actividad
optica



Introduciendo desfases (Bi-refringencia)



Laminas retardadoras



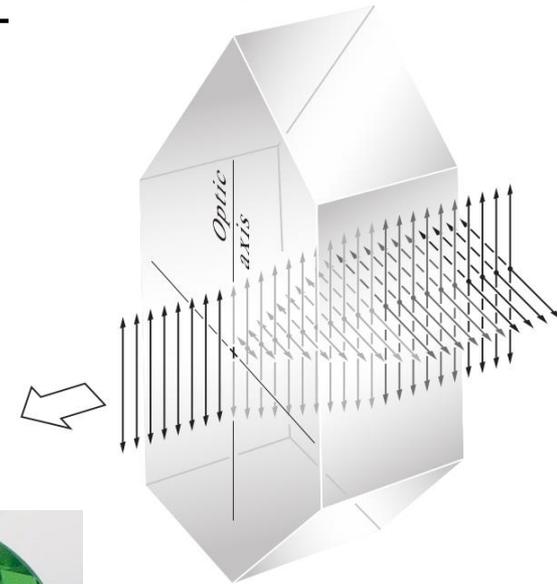
Dicroísmo 1

Estado de polarización lineal resulta por **absorción selectiva** de la perturbación que oscila en **una dirección dada**

$$\vec{\psi}(z, t) = \underbrace{E_{0x} \cos(kz - w t)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos(kz - w t + \varepsilon(t))}_{E_y} \hat{y}$$

Critales dicróicos

- Estructura cristalina anisotrópica
- Existencia de un **eje optico(EO)**
- Componente perpendicular al EO es fuertemente absorbida (las cargas aceleradas no radian sino que redistribuyen la energía absorbida en la red cristalina...disipan calor)



Dichroic Tourmaline Crystal Light Transmission

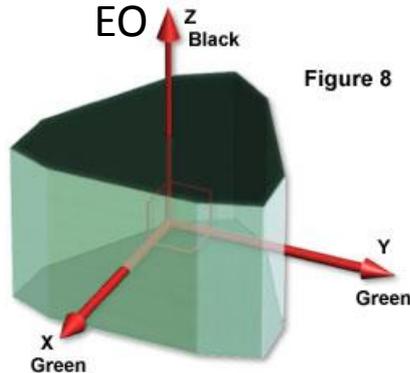


Figure 8

Dichroic Absorption in Tourmaline

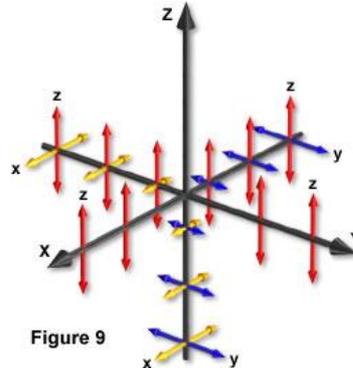


Figure 9

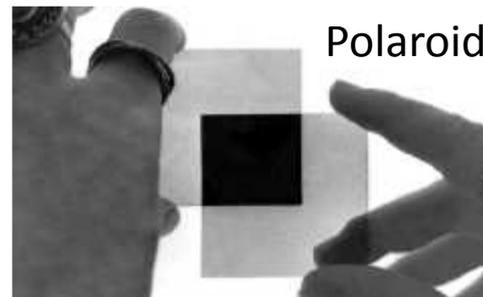
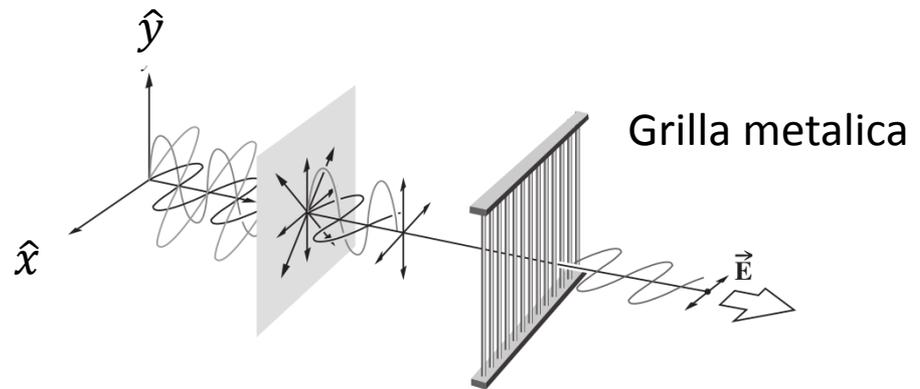


Dicroísmo 2

Estado de polarización lineal resulta por **absorción selectiva** de la perturbación que oscila en **una dirección dada**

$$\vec{\psi}(z, t) = \underbrace{E_{0x} \cos(kz - w t)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos(kz - w t + \varepsilon(t))}_{E_y} \hat{y}$$

- La componente \hat{y} acelera electrones (creando corrientes en los alambres) que chocan con átomos de la red y ceden su energía (se calienta el alambre)
- La componente \hat{x} no es absorbida y se transmite
- \hat{x} es el eje de transmisión (ET) del polarizador



Polaroid

Plástico calentado y estirado (polímeros alineados) recubierto por solución de *iodine*

Hablemos de energía transportada

$$\vec{E}(z, t) = \underbrace{E_{0x} \cos(kz - \omega t)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos(kz - \omega t + \varepsilon)}_{E_y} \hat{y}$$

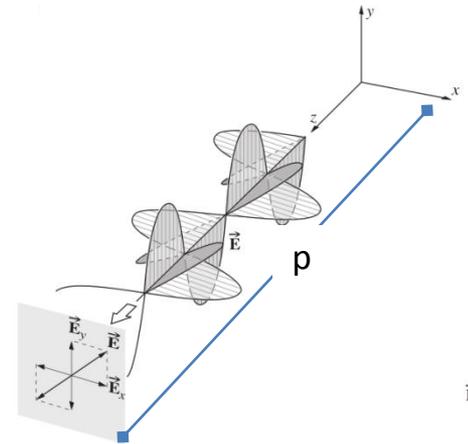
Energía transmitida por una onda, por unidad de área

Cte dipolar electrica

$$\varepsilon_0 c E(z, t)^2$$

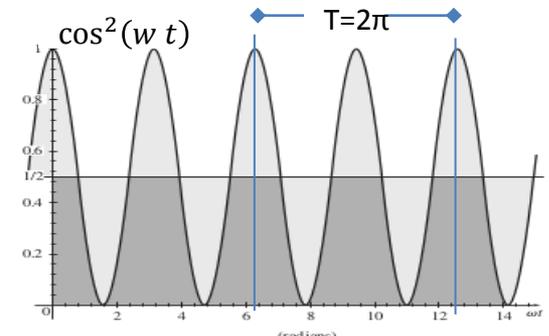
Irradiancia: Energía transmitida por unidad de área por unidad de tiempo

$$I = \varepsilon_0 c \langle E(z, t)^2 \rangle_t$$



$$I = \varepsilon_0 c \langle E_x(z = p, t)^2 + E_y(z = p, t)^2 \rangle_t$$

$$= \varepsilon_0 c E_{0x}^2 \langle \cos^2(kp - \omega t) \rangle_t + \varepsilon_0 c E_{0y}^2 \langle \cos^2(kp - \omega t) \rangle_t$$



$$\left\langle \cos^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \alpha \right) \right\rangle_t = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \cos^2 \left(\frac{2\pi}{T} t + \alpha \right) dt = \frac{1}{2}$$

Hablemos de energía transportada

$$\vec{E}(z, t) = \underbrace{E_{0x} \cos(kz - w t)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos(kz - w t + \varepsilon)}_{E_y} \hat{y}$$

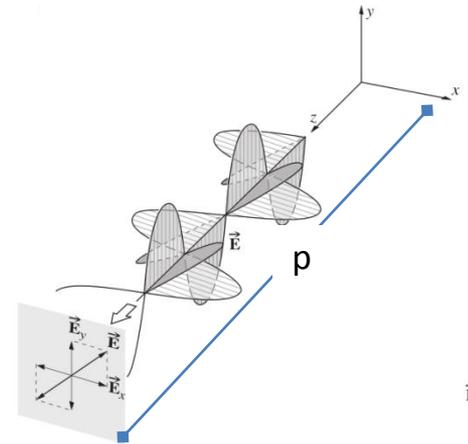
Energía transmitida por una onda, por unidad de área

Cte dipolar electrica

$$\varepsilon_0 c E(z, t)^2$$

Irradiancia: Energía transmitida por unidad de área por unidad de tiempo

$$I = \varepsilon_0 c \langle E(z, t)^2 \rangle_t$$



$$I = \varepsilon_0 c \langle E_x(z = p, t)^2 + E_y(z = p, t)^2 \rangle_t$$

$$= \varepsilon_0 c E_{0x}^2 \langle \cos^2(kp - w t) \rangle_t + \varepsilon_0 c E_{0y}^2 \langle \cos^2(kp - w t + \varepsilon) \rangle_t$$

$$\frac{1}{T} \int_t^{t+T} \cos^2(kp - w t) dt = \frac{1}{2}$$

$$I = \varepsilon_0 c \frac{E_{0x}^2 + E_{0y}^2}{2}$$

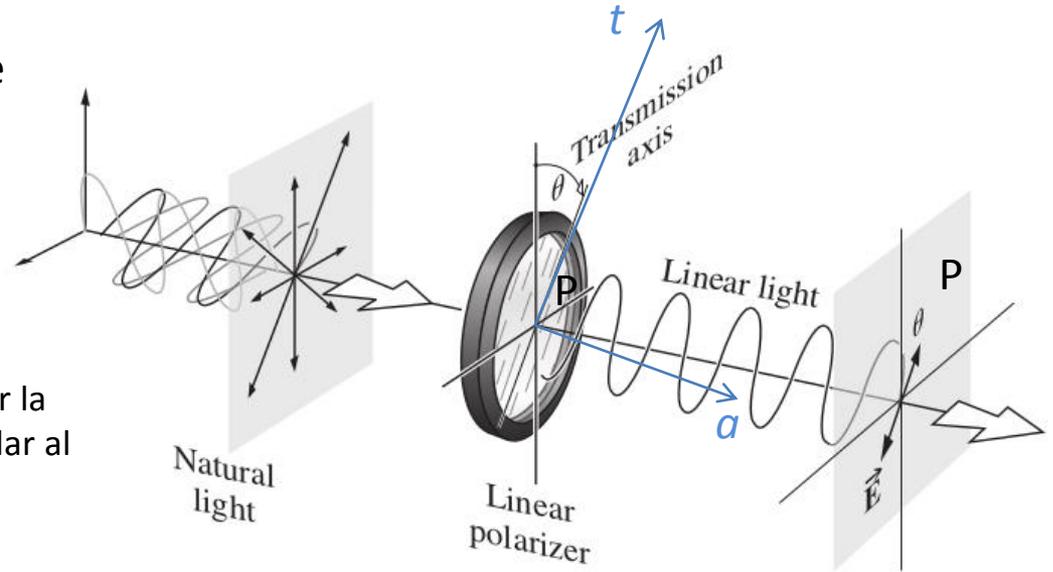
Cada componente transporta la mitad de la energia

Luz natural sobre polarizador

Cuanta intensidad es detectada sobre el plano P?

Describo polarización utilizando ejes de transmisión \hat{t} y absorción \hat{a} del polaroid

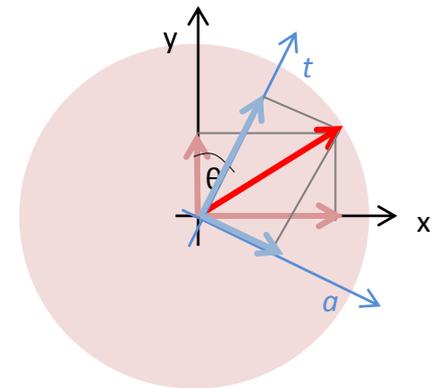
(desde este sistema de ref. es muy facil describir la extinción que ocurre en la direccón perpendicular al eje de transmisión)



$$\vec{E}(z, t)^{in} = \underbrace{E_{0x} \cos(kz - wt)}_{E_x} \hat{x} + \underbrace{E_{0y} \cos(kz - wt + \varepsilon(t))}_{E_y} \hat{y}$$

$$\vec{E}(z, t)^{in} = \underbrace{E_{0t} \cos(kz - wt)}_{E_t} \hat{t} + \underbrace{E_{0a} \cos(kz - wt + \varepsilon(t))}_{E_a} \hat{a}$$

$$\vec{E}(z, t)^{out} = \underbrace{E_{0t} \cos(kz - wt + \varepsilon_t)}_{E_t} \hat{t}$$

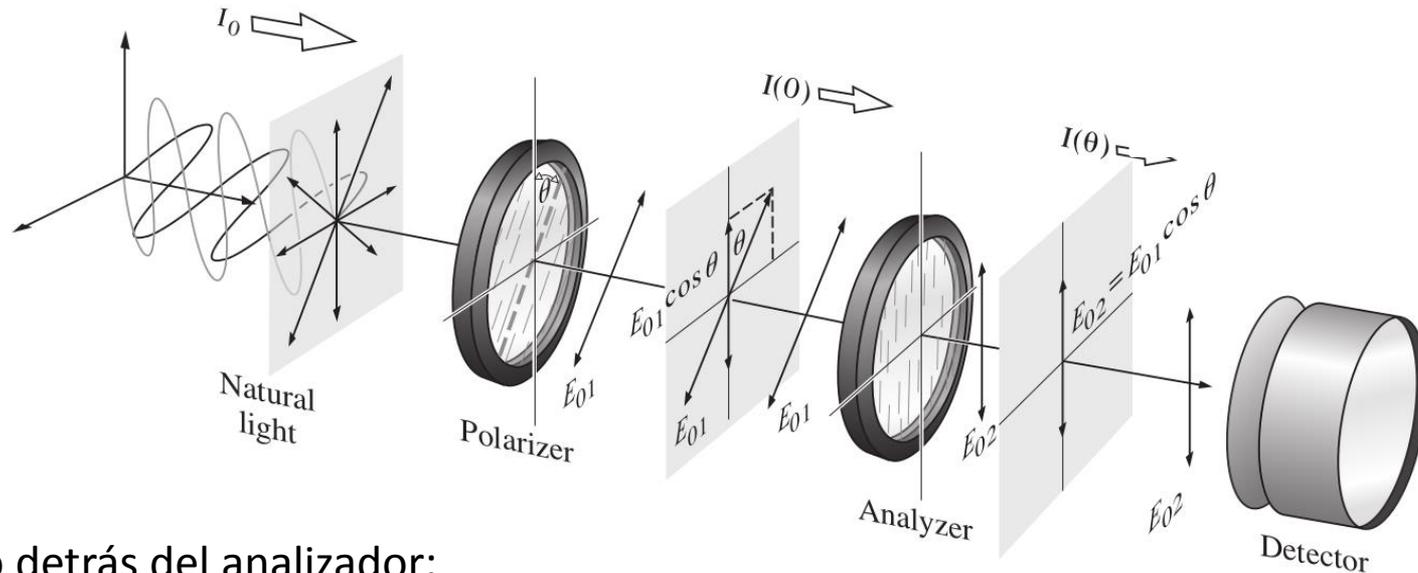


$$I = \varepsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_T = \varepsilon_0 c \frac{E_{0t}^2}{2} \xrightarrow[\substack{E_{0x} = E_{0y} \\ E_{0t} = E_{0a}}]{\text{Si fuese natural natural}}$$

$$I = \varepsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_t = \frac{I_{in}}{2}$$

Cuanta energia llega al detector si sobre el incide luz LP...

...si el ET del segundo polarizador (a.k.a. *analizador*) forma un ángulo θ con el primero?



Campo detrás del analizador:

$$\vec{E}(z, t) = E_{02} \cos(kz - \omega t) \hat{y} = E_{01} \cos \theta \cos(kz - \omega t) \hat{y}$$

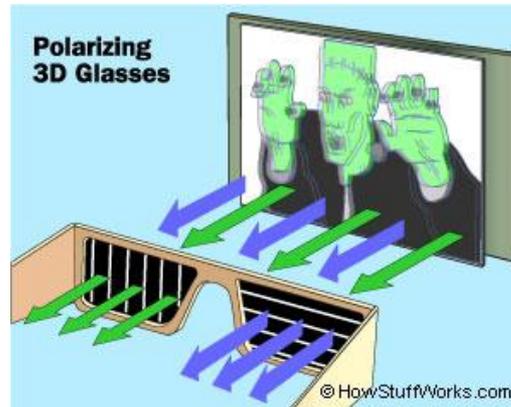
Al detector llega una irradiancia

$$I = \varepsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_t = \frac{\varepsilon_0 c E_{01}^2 \cos^2 \theta}{2}$$

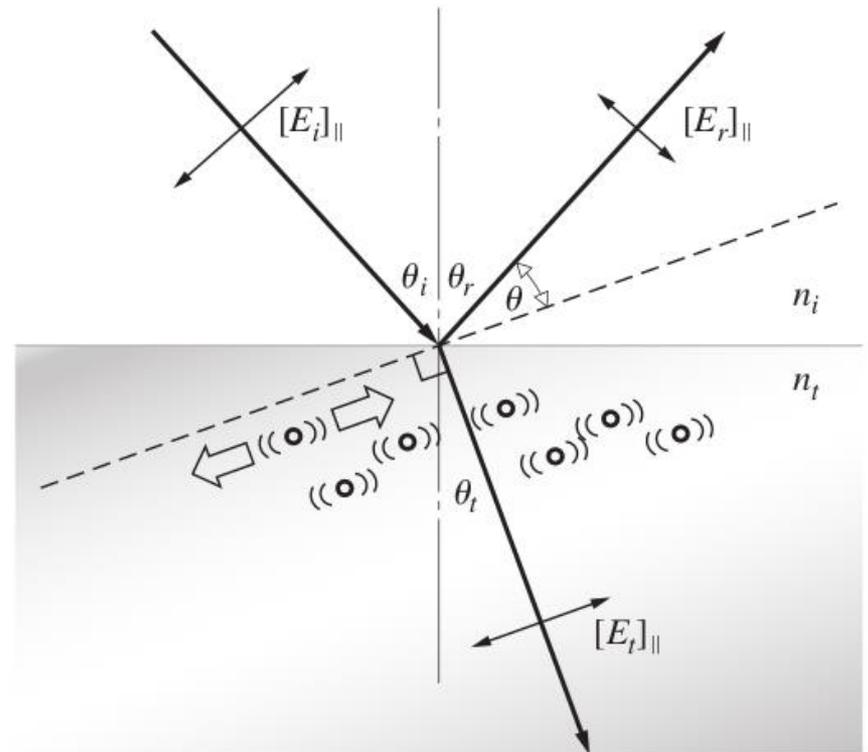
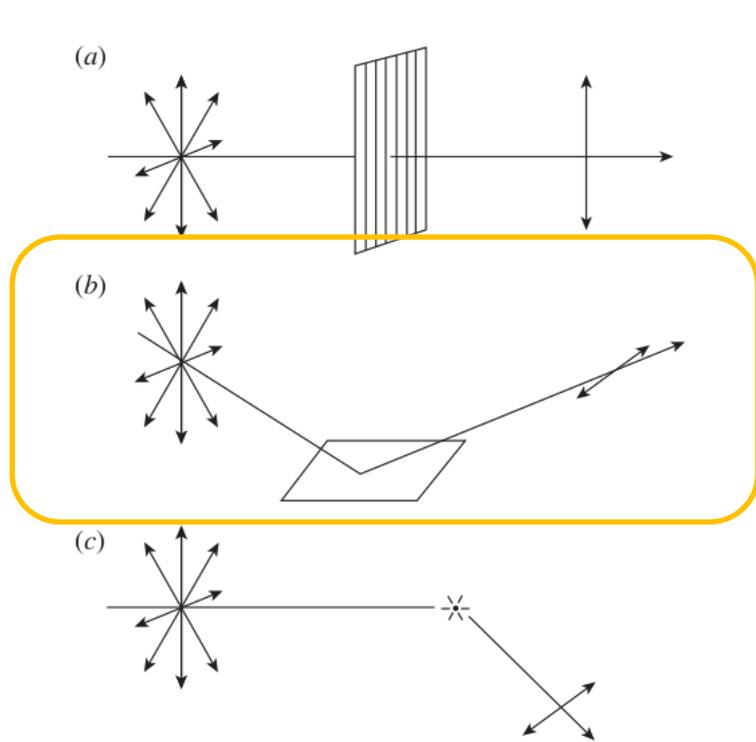
Ley de Malus

$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \theta$$

Cine 3D



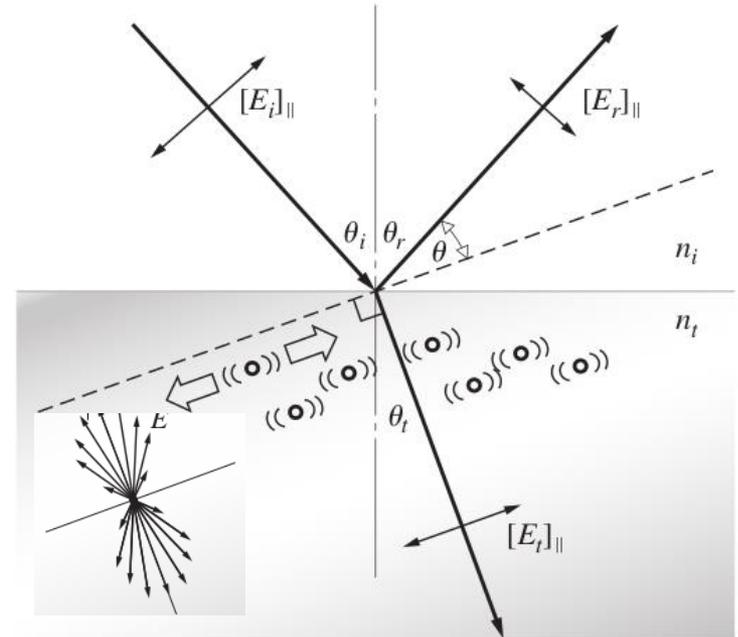
Polarización por reflexión



Onda incide sobre dielectrico (material no conductor)

Polarización por reflexión: ángulo de Brewster

- Onda polarizada linealmente en dirección paralela al plano de incidencia incide sobre un dieléctrico
- E_r y E_t (ley de Snell y reflexión) generados por radiación emitida por las cargas aceleradas dentro del material por la onda incidente.
- Como sabemos, ésta emisión no es isotrópica. Es máxima hacia la dirección de transmisión (Snell) y nula sobre la dirección de movimiento
- Esto hace, por ejemplo que la intensidad de las ondas reflejada y transmitida dependan del ángulo de incidencia...



Polarización por reflexión: ángulo de Brewster

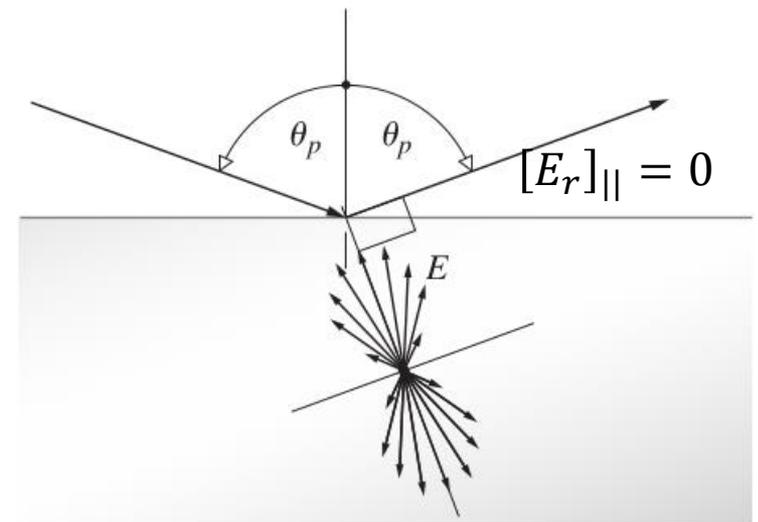
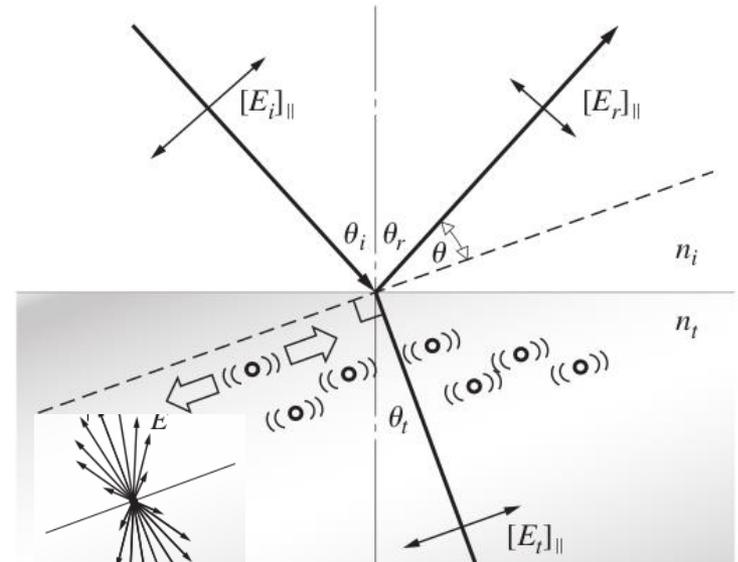
- Onda polarizada linealmente en dirección paralela al plano de incidencia incide sobre un dieléctrico
- E_r y E_t (ley de Snell y reflexión) generados por radiación emitida por las cargas aceleradas dentro del material por la onda incidente.
- Como sabemos, ésta emisión no es isotrópica. Es máxima hacia la dirección de transmisión (Snell) y nula sobre la dirección de movimiento
- Que pasaría entonces si para algún ángulo $\theta_i \equiv \theta_p$:
 $\theta_p + \theta_t = \pi/2$

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t$$

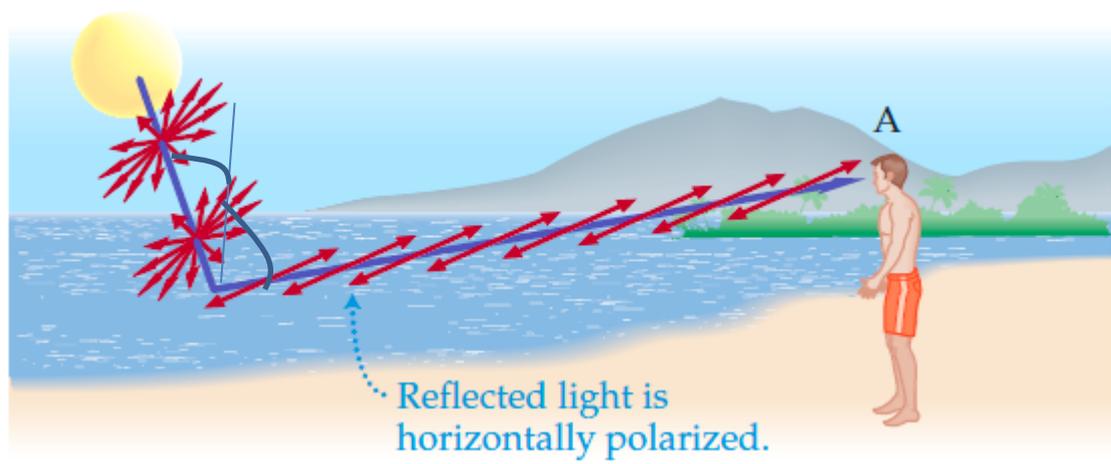
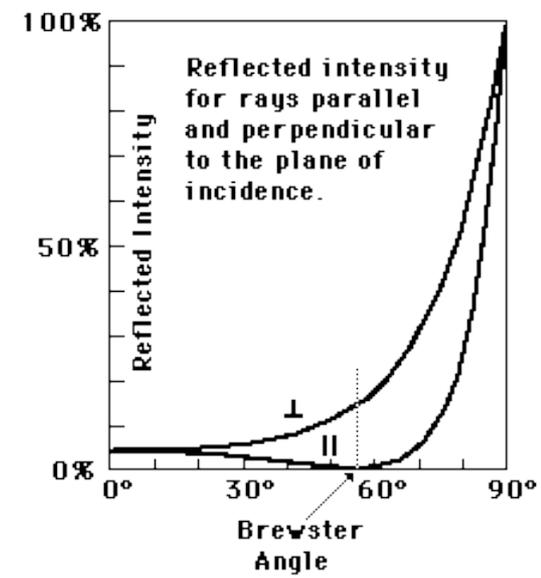
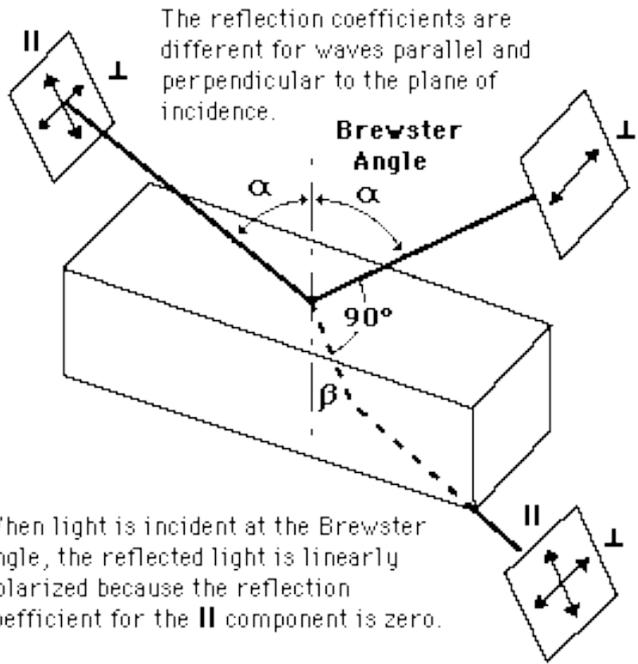
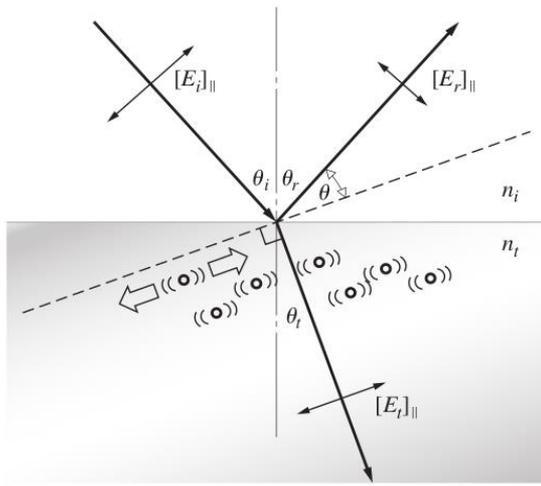
$$n_i \sin \theta_p = n_t \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_p \right) = n_t \cos(\theta_p)$$

$$\tan \theta_p = \frac{n_t}{n_i}$$

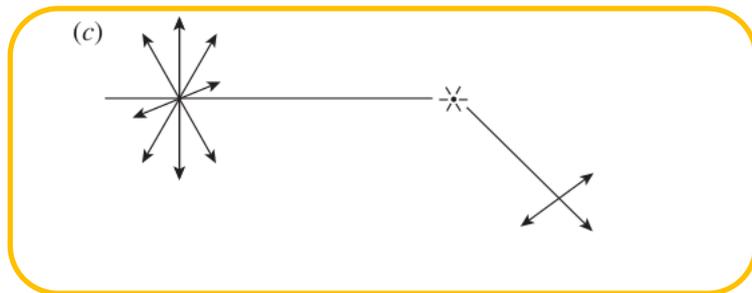
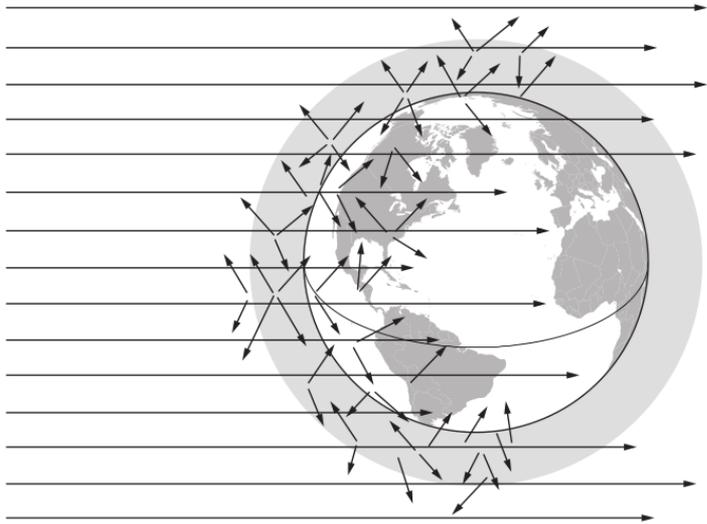
→ Define el ángulo para el cual $[E_r]_{\parallel} = 0$



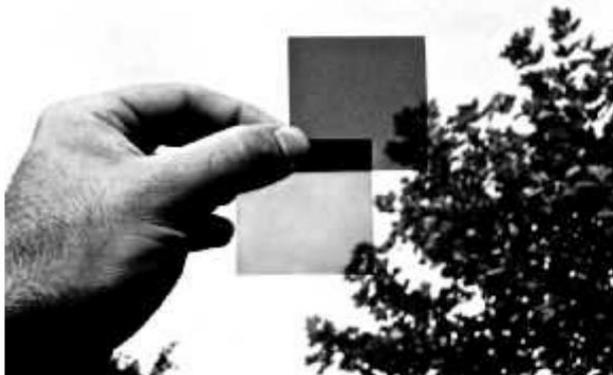
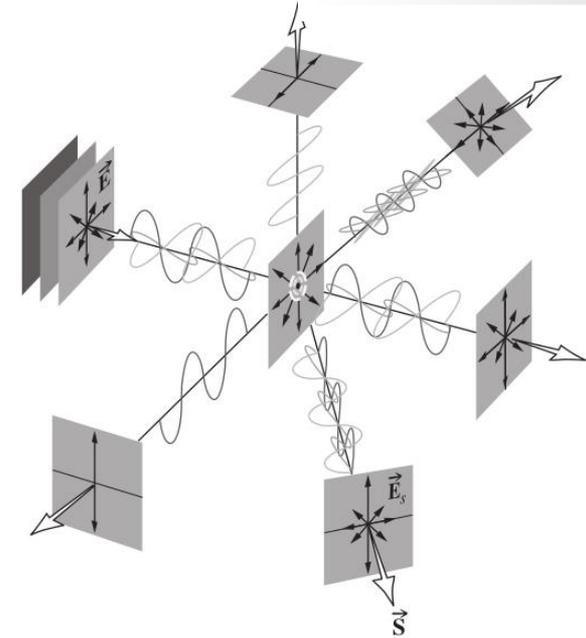
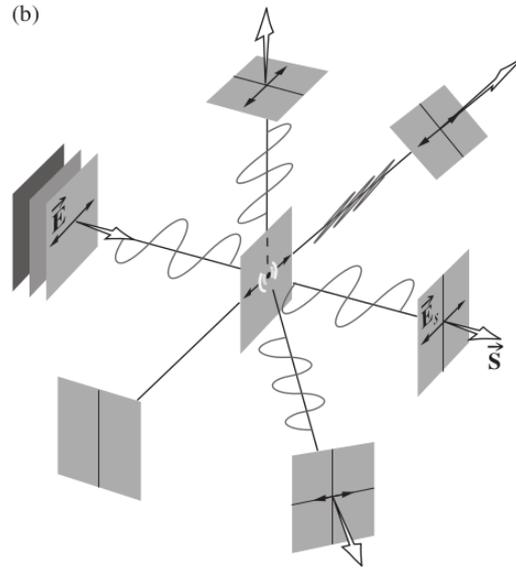
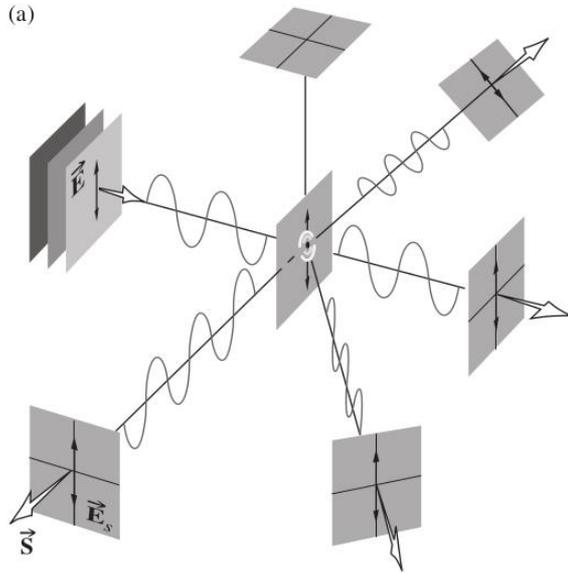
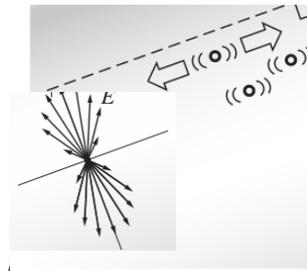
Polarización por reflexión: ángulo de Brewster



Polarización por scattering

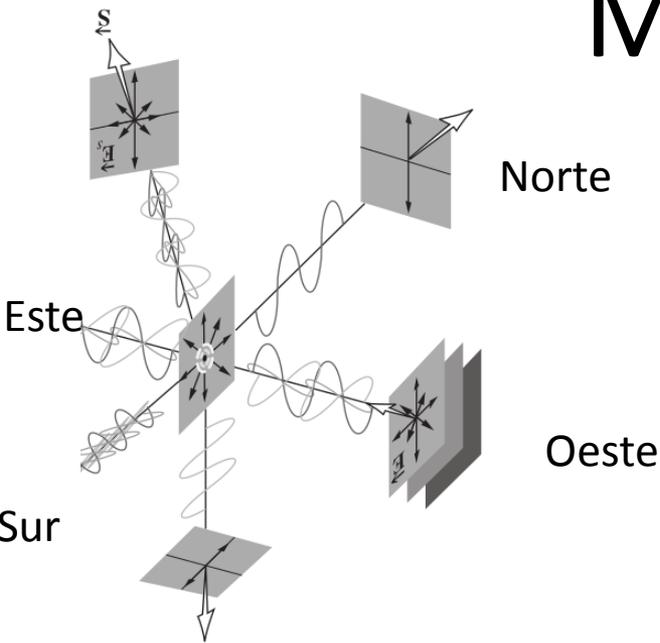


Polarización por scattering

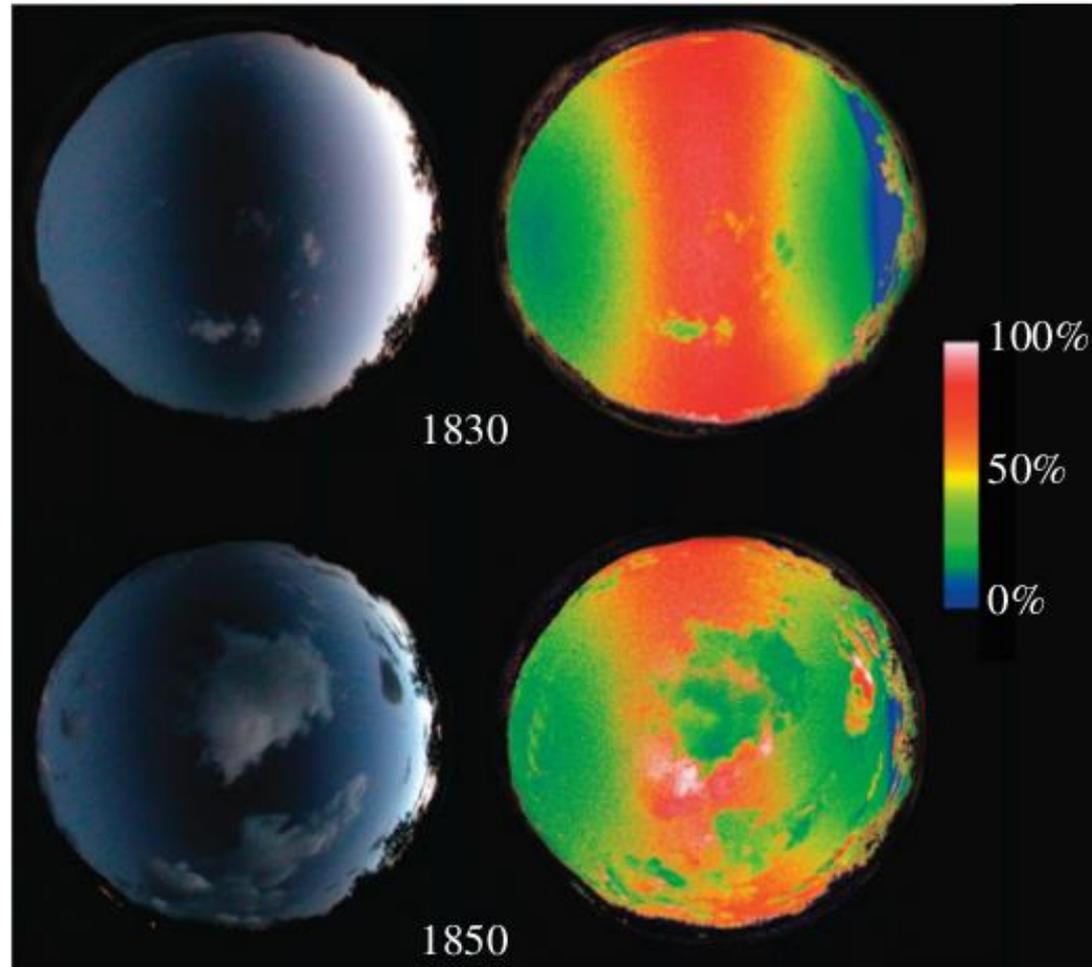


- Cuando observo una región a 90° de los rayos solares no espero encontrar la componente (a) .
- En la practica la polarización no es perfecta...sino que esta parcialmente polarizada porque hay scattering multiple y otros efectos

Mapa del cielo polarizado



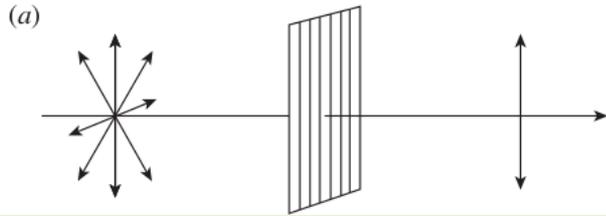
Eje transmision del polarizador (direccion Este-Oeste)



Polarizando (i.e. favoreciendo direcciones)

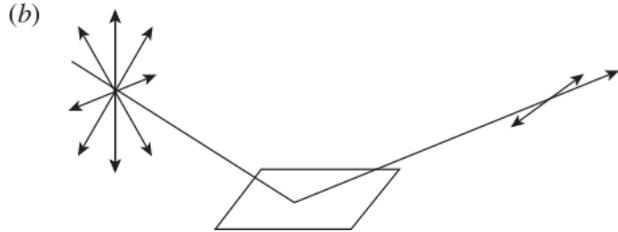
Absorviendo componentes

Dicroísmo

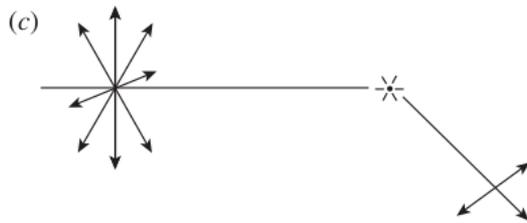


Direcciones de emision *prohibidas*

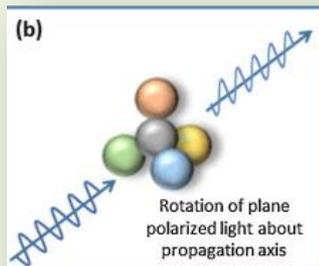
Reflexion



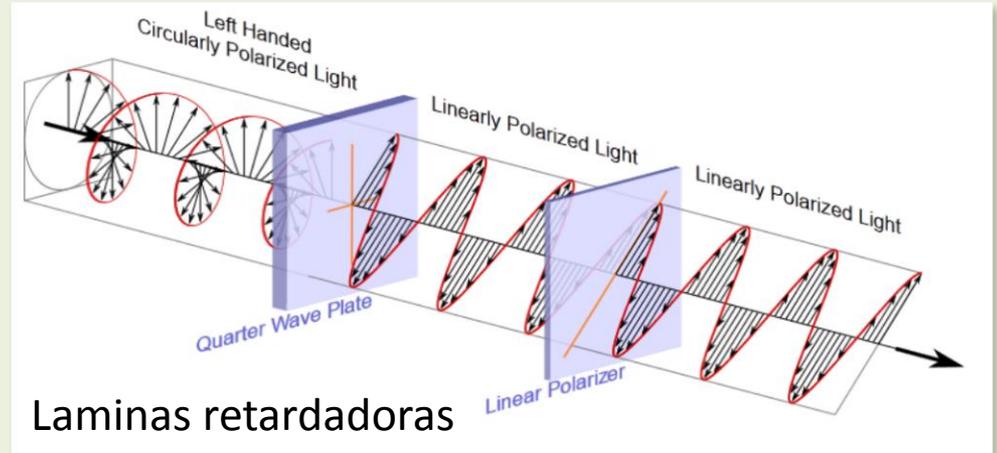
Scattering



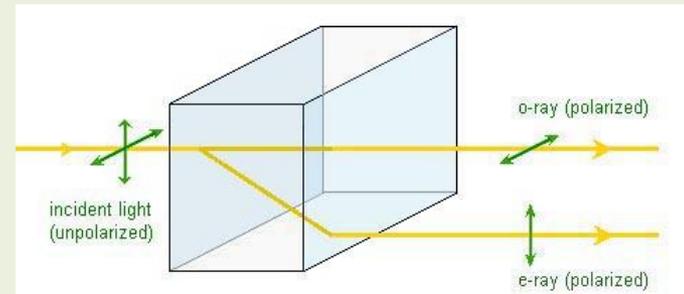
Actividad
optica



Introduciendo desfases (Bi-refringencia)



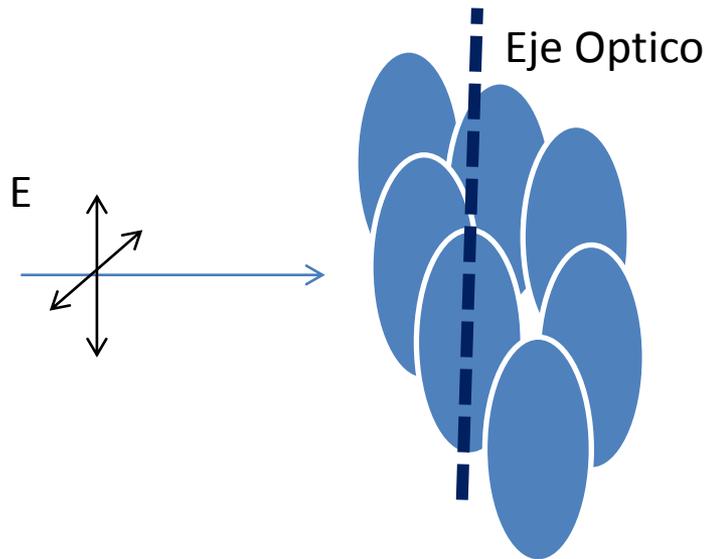
Laminas retardadoras



Birrefringencia

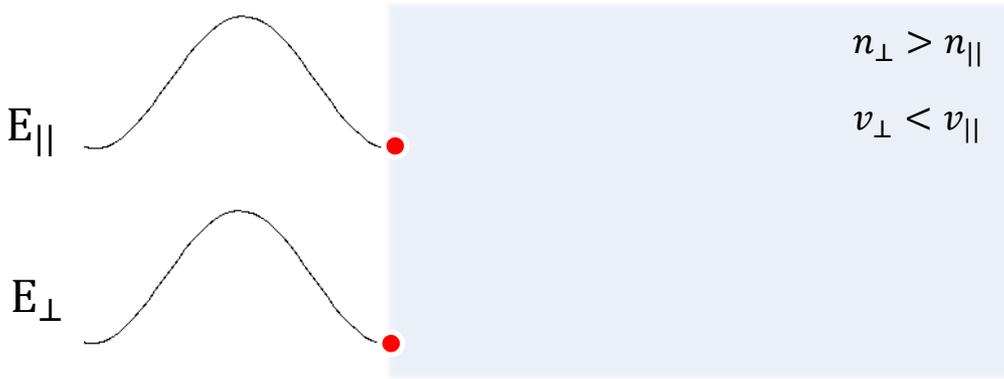
Otra vez la anisotropía...

- Hay sustancias (e.g. compuesto por moléculas alineadas más largas que anchas) para las cuales el índice de refracción es diferente en una dirección y otra.



- Las cargas responden más fácilmente al forzado en \hat{y} que en \hat{x}
- Esperamos una **respuesta diferente** en función de la **dirección** de polarización de la onda incidente
- Vamos a tener un $n_{||}$ y un n_{\perp}
- O lo que es lo mismo...diferentes velocidades de propagación dentro del medio:

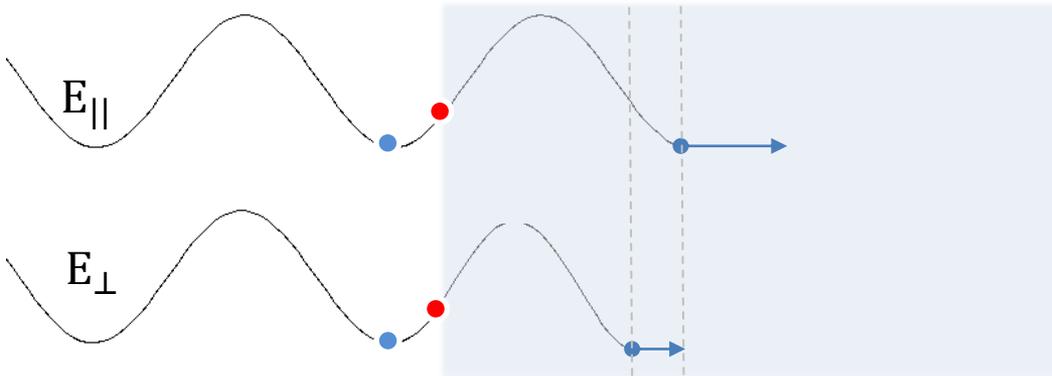
$$v_{||} = c/n_{||} \quad v_{\perp} = c/n_{\perp}$$



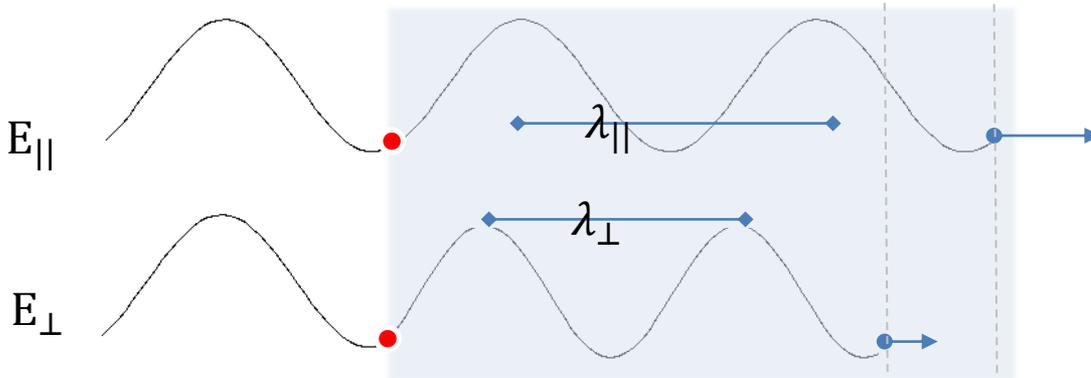
$$v_{\parallel} = c/n_{\parallel} \quad v_{\perp} = c/n_{\perp}$$

...recordemos que $v = \lambda \nu$ ↙ freq

La frecuencia ν es la misma fuera y dentro del material (pensemos en el punto \bullet , esta en la interfase y presenta una frecuencia de oscilacion bien definida)



$$\begin{aligned} v_{\parallel} &= \lambda_{\parallel} \nu \\ v_{\perp} &= \lambda_{\perp} \nu \end{aligned}$$

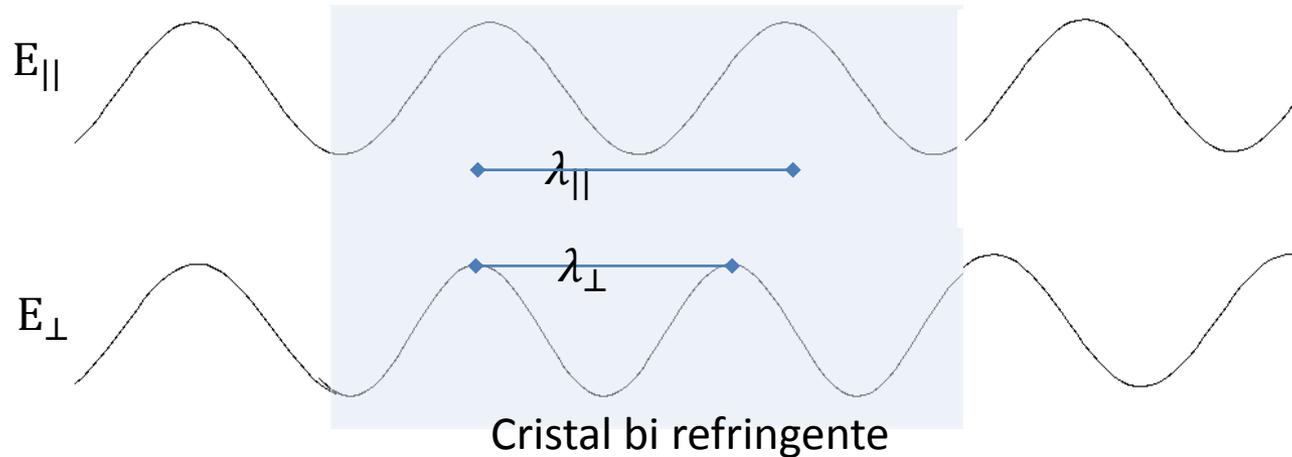


$$\begin{aligned} \lambda_{\parallel} &= \frac{c}{n_{\parallel} \nu} = \frac{\lambda_0}{n_{\parallel}} \\ \lambda_{\perp} &= \frac{c}{n_{\perp} \nu} = \frac{\lambda_0}{n_{\perp}} \end{aligned}$$

- Dentro del material las oscilaciones en las dos direcciones tendran longitudes de onda diferentes

Laminas retardadoras

En definitiva



Nota matematica:

$$\cos(kz - \omega t + \varepsilon)$$

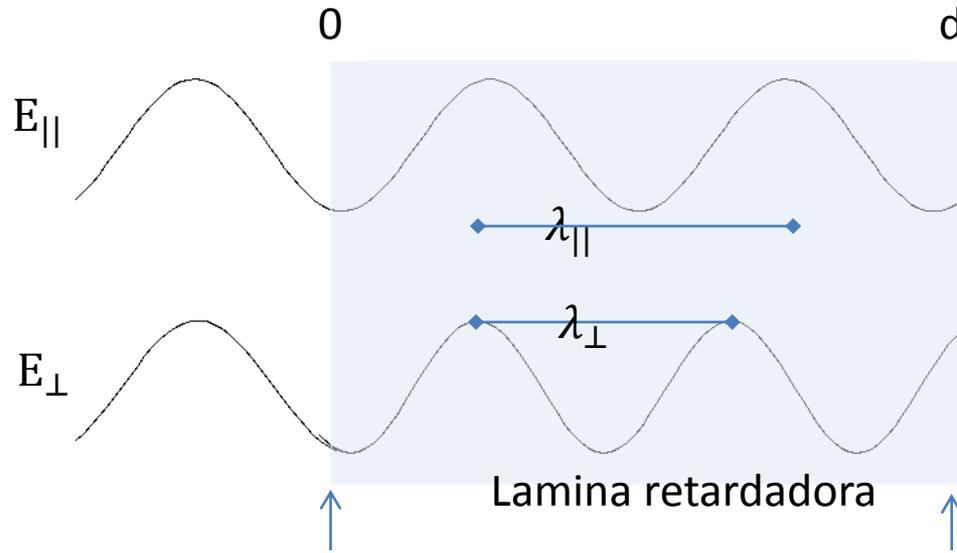


$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = n \frac{2\pi}{\lambda_0} = nk_0$$

tiene el efecto de alargar o acortar la escala de z

- Dentro del material las oscilaciones en las dos direcciones tendran longitudes de onda diferentes
- A la salida del cristal aparece un desfase entre componentes!

Calculamos el desfase que agrega la lamina



$$\lambda_{||} = \frac{c}{n_{||}v}$$

$$\lambda_{\perp} = \frac{c}{n_{\perp}v}$$

$$E_{||}(z=0) = E_{0||} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_{||}} 0 - \omega t + \varepsilon_{||}\right)$$

$$E_{||}(z=d) = E_{0||} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_{||}} d - \omega t + \varepsilon_{||}\right)$$

$$E_{\perp}(z=0) = E_{0\perp} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_{\perp}} 0 - \omega t + \varepsilon_{\perp}\right)$$

$$E_{\perp}(z=d) = E_{0\perp} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_{\perp}} d - \omega t + \varepsilon_{\perp}\right)$$

$\varphi_{||}(d, t)$

$\varphi_{\perp}(d, t)$

$$\varphi_{||} - \varphi_{\perp} = \left(\frac{1}{\lambda_{||}} - \frac{1}{\lambda_{\perp}}\right) 2\pi d + (\varepsilon_{||} - \varepsilon_{\perp}) = (n_{||} - n_{\perp}) 2\pi d \frac{v}{c} + (\varepsilon_{||} - \varepsilon_{\perp})$$

$$\varphi_{||} - \varphi_{\perp} = (n_{||} - n_{\perp}) \frac{2\pi d}{\lambda_0} + (\varepsilon_{||} - \varepsilon_{\perp})$$

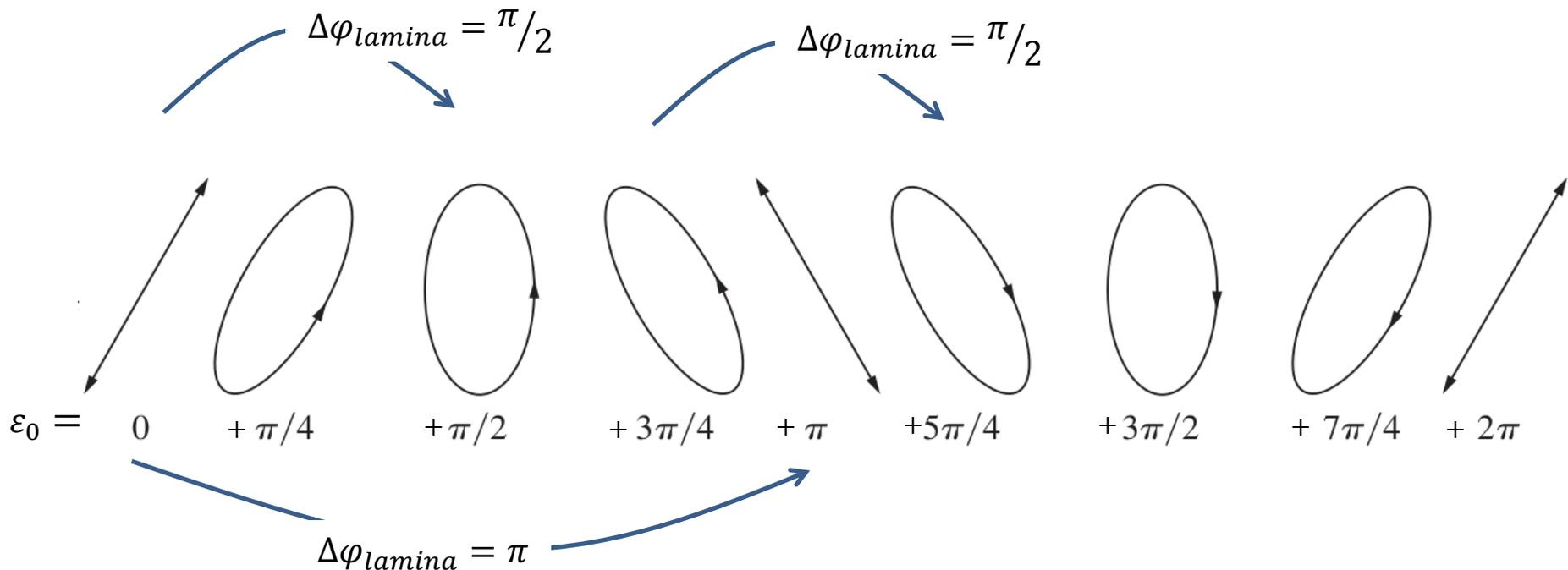
$$\Delta\varphi_{lamina} = (n_{||} - n_{\perp}) \frac{2\pi d}{\lambda_0}$$

Cosas que podemos hacer con laminas

$$\vec{\psi}(z, t) = \mathbf{E}_{0x} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z - \omega t + \varphi_x\right) \hat{x} + \mathbf{E}_{0y} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} z - \omega t + \varphi_x + \varepsilon_0\right) \hat{y}$$

$$\Delta\varphi_{lamina} = (n_{||} - n_{\perp}) \frac{2\pi d}{\lambda_0}$$

A la salida: $\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varphi_{lamina}$



Lamina de media onda

Diseñada para introducir una dif de fase de π radianes entre ambas componentes

$$\Delta\varphi_{\lambda/2} \equiv (n_{\parallel} - n_{\perp}) \frac{2\pi d}{\lambda_0} = \pi$$

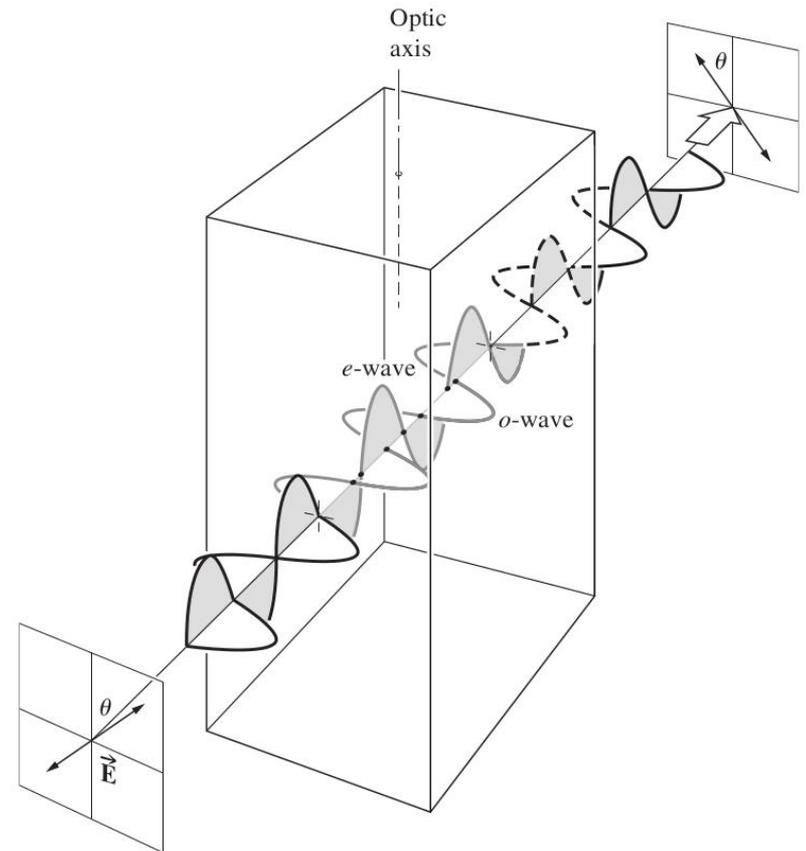
- Ej: una polarización lineal gira un angulo 2θ

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varphi_{\lambda/2} = 0 + \pi$$



Dif de fase antes de la lamina

Dif de fase despues de la lamina

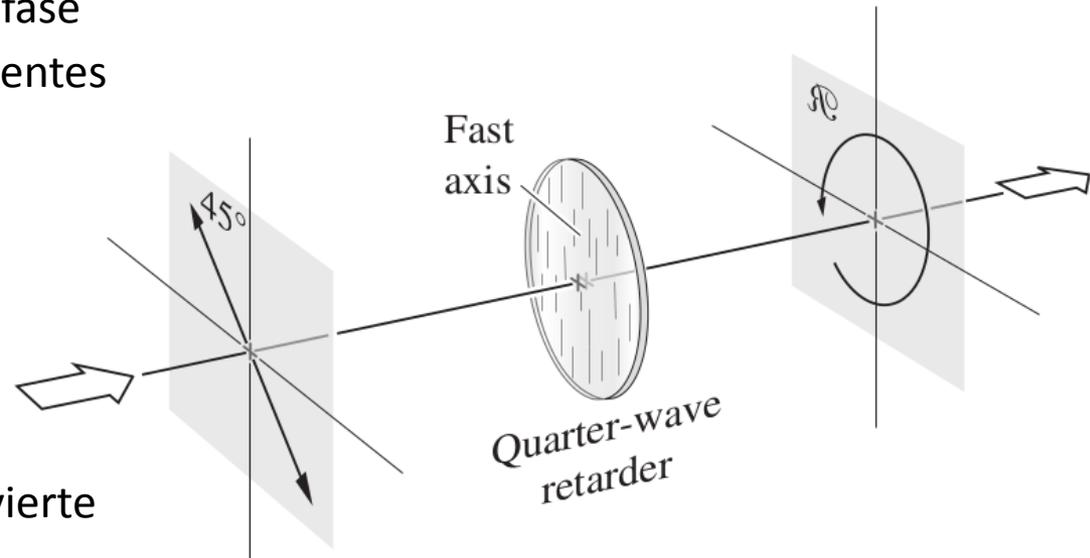


Por que se llama de $\lambda/2$?

Lamina de cuarto de onda

Diseñada para introducir una dif de fase de $\frac{\pi}{2}$ radianes entre ambas componentes

$$\Delta\varphi_{\lambda/4} \equiv (n_{\parallel} - n_{\perp}) \frac{2\pi d}{\lambda_0} = \frac{\pi}{2}$$



- Ej: una polarización lineal la convierte en circular

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varphi_{\lambda/2} = 0 + \frac{\pi}{2}$$

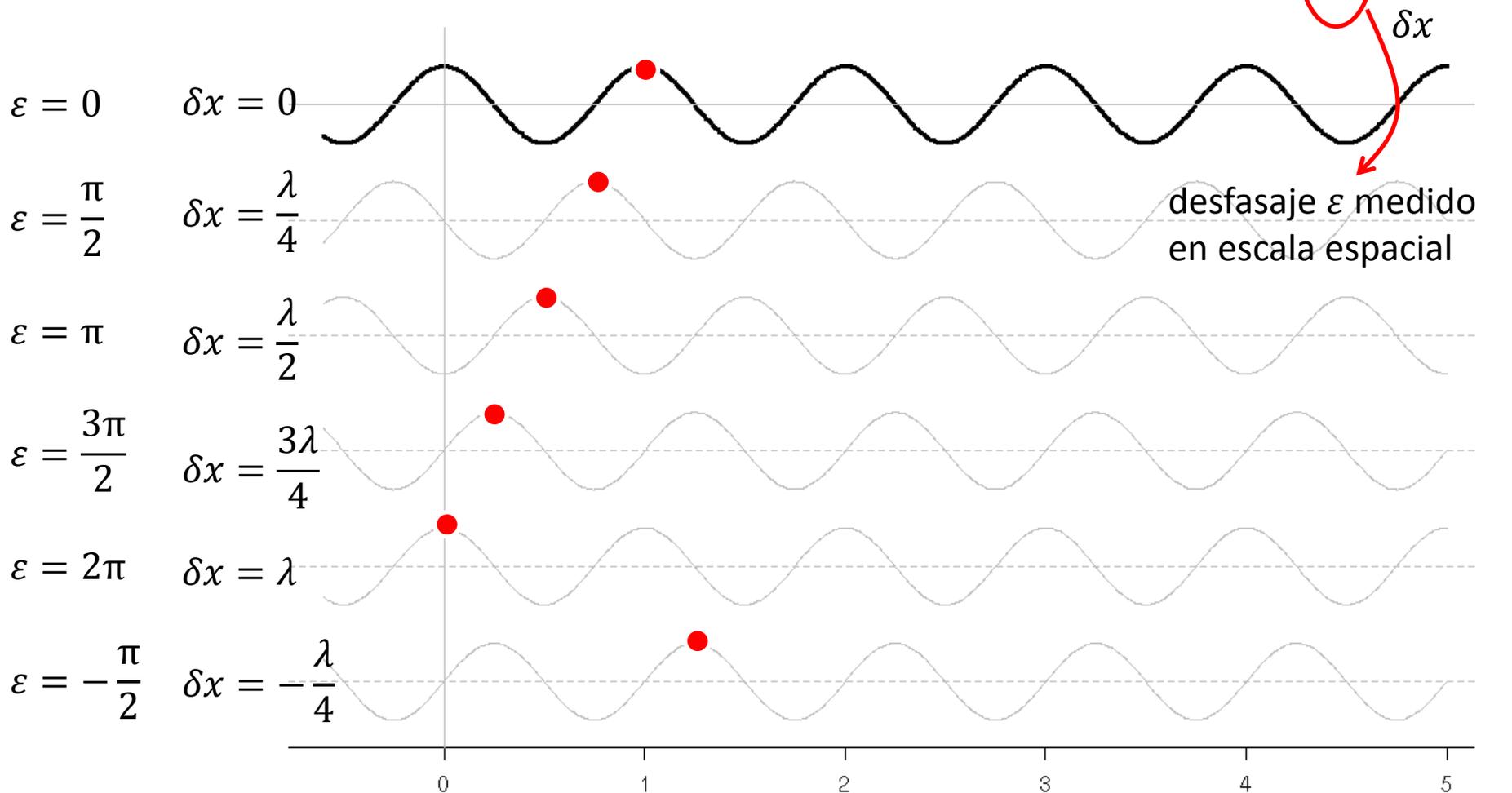


Dif de fase antes de la lamina

Dif de fase despues de la lamina

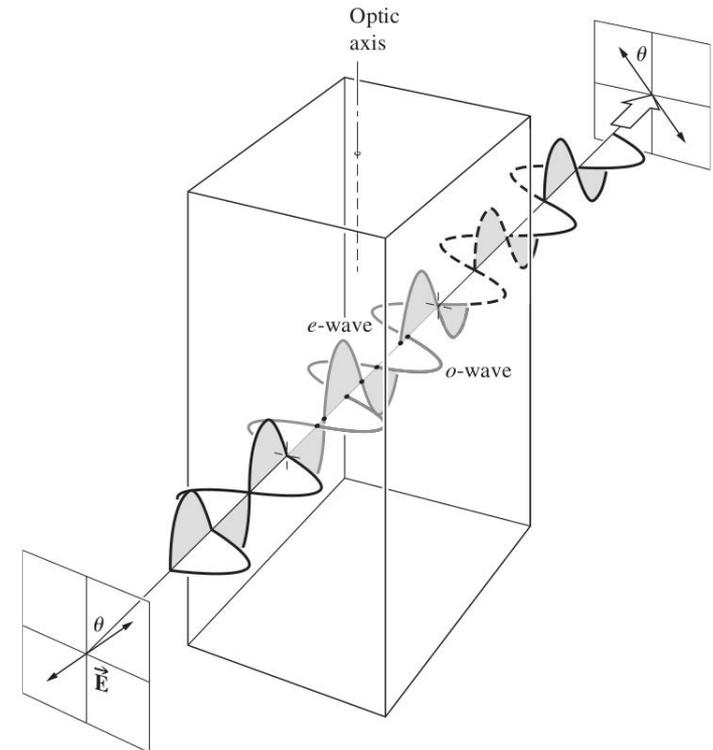
La palabra clave...desfasaje

$$\psi(x, t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \varepsilon\right) \longrightarrow \psi(x, t) = E_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2\pi} \varepsilon\right)$$

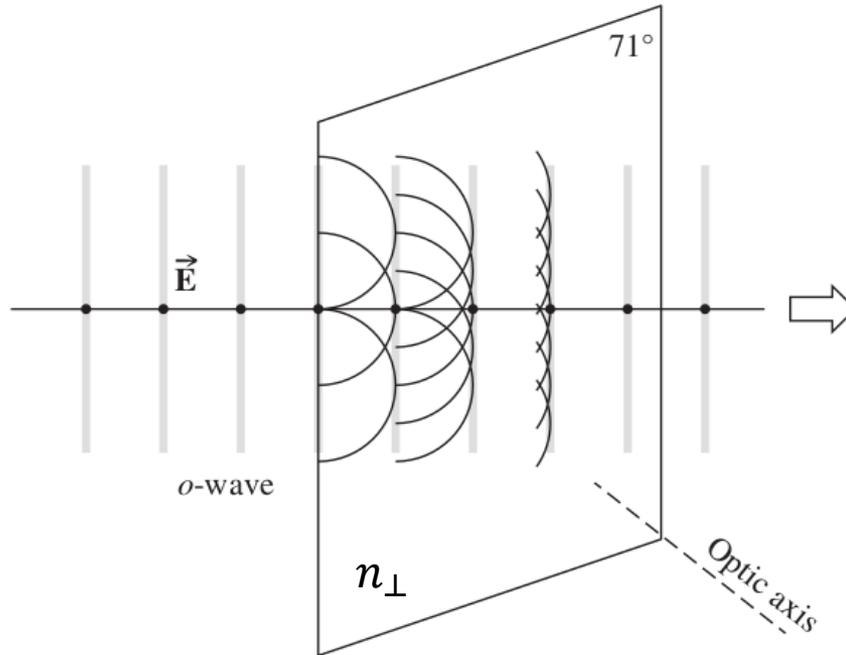


Bi-refringencia *de coté*

- Para que un cristal bi-refringente actúe como lámina retardadora el cristal debe estar facetado de manera que su superficie sea paralela al eje óptico
- Si esto no sucede... pasa algo extraordinario....

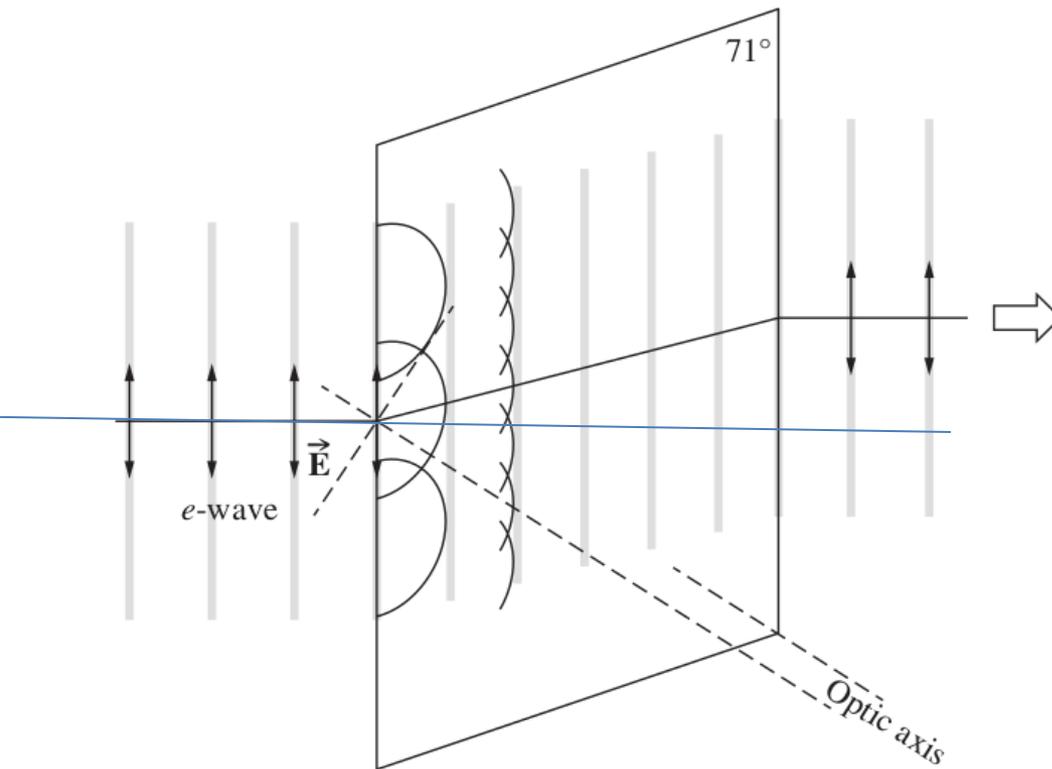


Bi-refringencia *de coté*



Para esta polarización incidente
el único índice de refracción
relevante es n_{\perp}

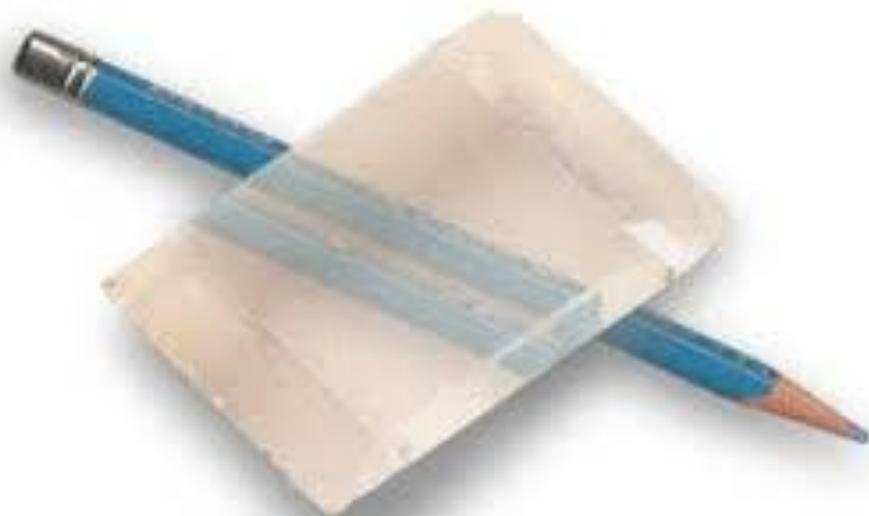
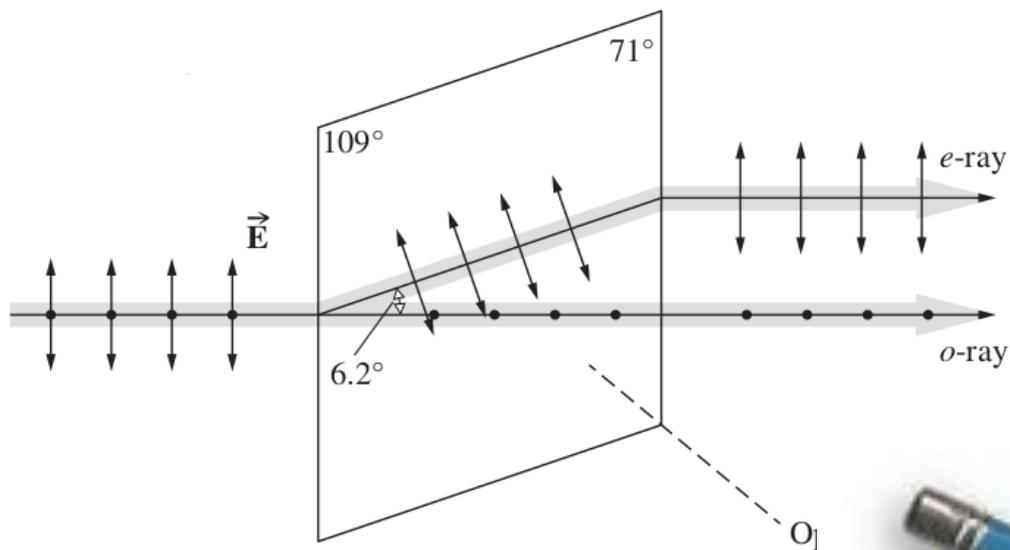
Bi-refringencia *de coté*



- En cristal anisotrópicos, la dirección del rayo (en la que se propaga la energía) puede no ser normal al frente de onda.

- Esta polarización incidente tiene componentes paralela \mathbf{y} perpendicular al EO
- Supongamos $v_{\perp} > v_{\parallel}$
- Las onditas emitidas viajarán más rápido en la dirección normal al EO. Quedan como elipsoides de revolución alrededor del EO
- La envolvente sigue siendo plana, PERO...en realidad al avanzar se desplaza hacia arriba.
- La dirección del rayo (desde el punto emisor hasta la envolvente) tiene una componente vertical. A este rayo se lo llama *extraordinario*

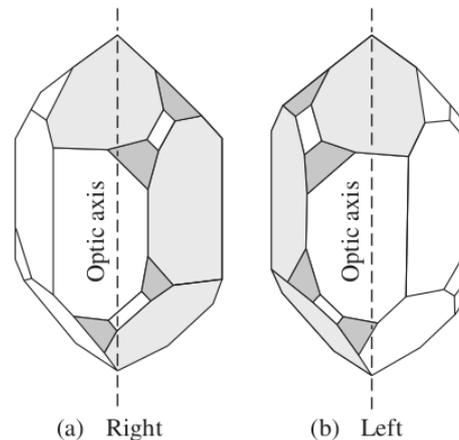
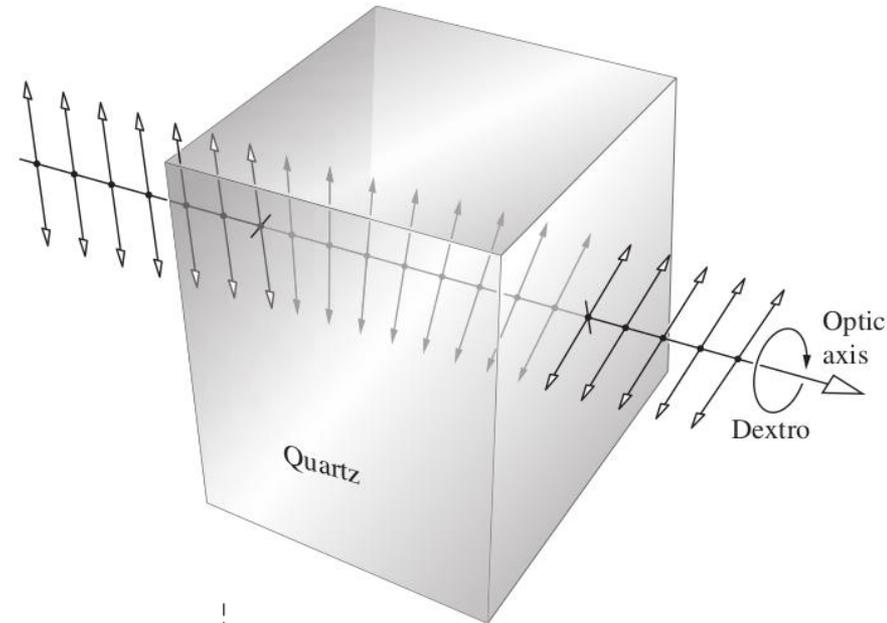
Bi-refringencia *de coté*



Actividad Óptica

De como la luz puede decir cosas sobre las sustancias que atraviesa

- (Arago 1811) La dirección de vibración de una onda linealmente polarizada experimentaba un proceso de rotación continuo al propagarse paralelo al eje óptico de un cristal de cuarzo
- (Herschel 1822) Había dos tipos de cristales de cuarzo. Uno rotaba la luz LP hacia la derecha (poder **dextrógiro**) y otro hacia la izquierda (poder **levógiro**)



Actividad Optica

De como la luz puede decir cosas sobre las sustancias que atraviesa

- Los dos tipos de cuarzo eran uno la imagen especular del otro.
- (Pasteur 1848) Solución de ácido tartárico (racémico) es ópticamente inactivo, pero en realidad presenta partes iguales de isómeros (i.e. constituyentes "zurdos" y "diestros", unos imagen especular de los otros).
- Si se los separa y disuelve por separado en agua, las soluciones presentan actividad óptica levógira una, y dextrógira otra.

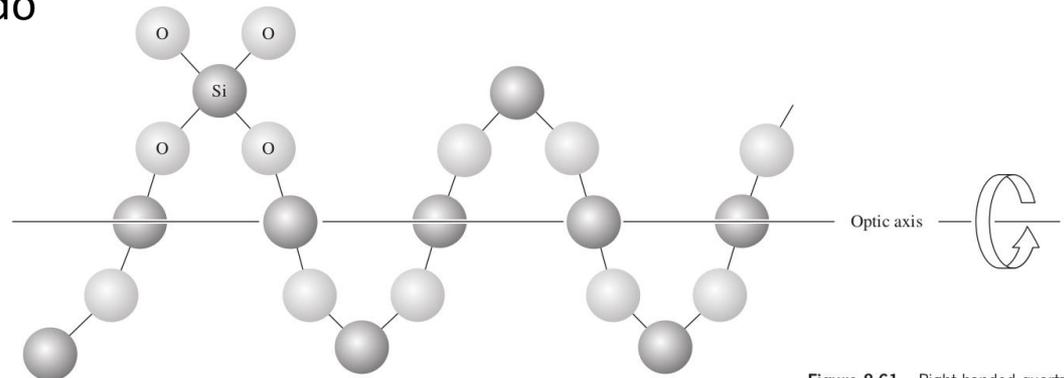
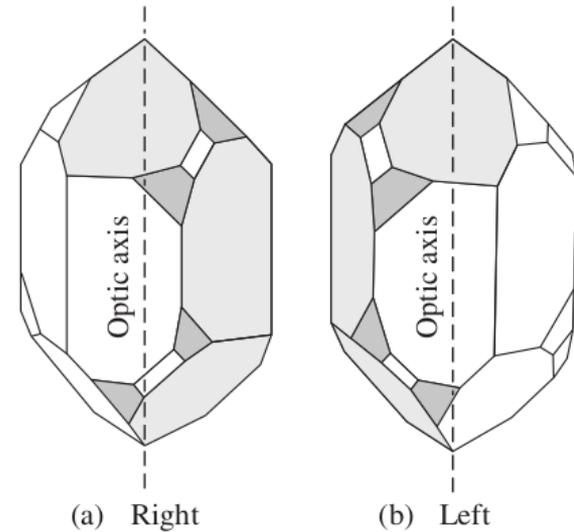
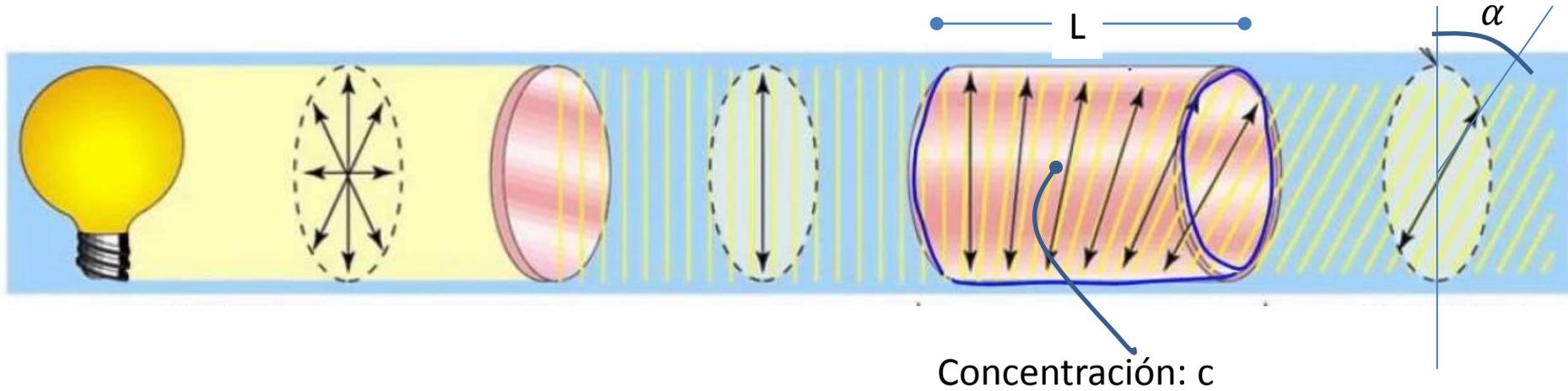


Figure 8.61 Right-handed quartz.

Cuantificando el poder rotatorio



temperatura

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{L * c}$$

dm g/ml

Compuesto	$[\alpha]_D^{20}$
D-sucrose	+66.37
D-lactose	+52.3
D-glucose	+52.7
Cholesterol	-31.5

