

Láminas retardadoras

- Cambian la polarización de una onda incidente.
- Producen una diferencia de fase en la onda determinada en una de las componentes perpendiculares de \vec{E} .
- Al salir de la lámina, la diferencia de fase inicial entre las componentes perpendiculares del campo \vec{E} es diferente a la de la onda incidente.



Láminas retardadoras: Eje óptico

- Toda lámina retardadora posee un eje óptico, es decir una dirección privilegiada dentro del material anisótropo que lo conforma.
- La propiedad es tal que la velocidad de una onda polarizada a lo largo del eje óptico será:

$$v_{\parallel} = \frac{c}{n_{\parallel}}$$

- Por otro lado, la velocidad de una onda polarizada en dirección perpendicular al eje óptico será:

$$v_{\perp} = \frac{c}{n_{\perp}}$$

Relación de velocidades

- Para retardadores uniaxiales negativos (calcita)

$$\begin{aligned}v_{\parallel} &> v_{\perp} \\ n_{\parallel} &< n_{\perp}\end{aligned}$$

Eje rápido \parallel al eje óptico

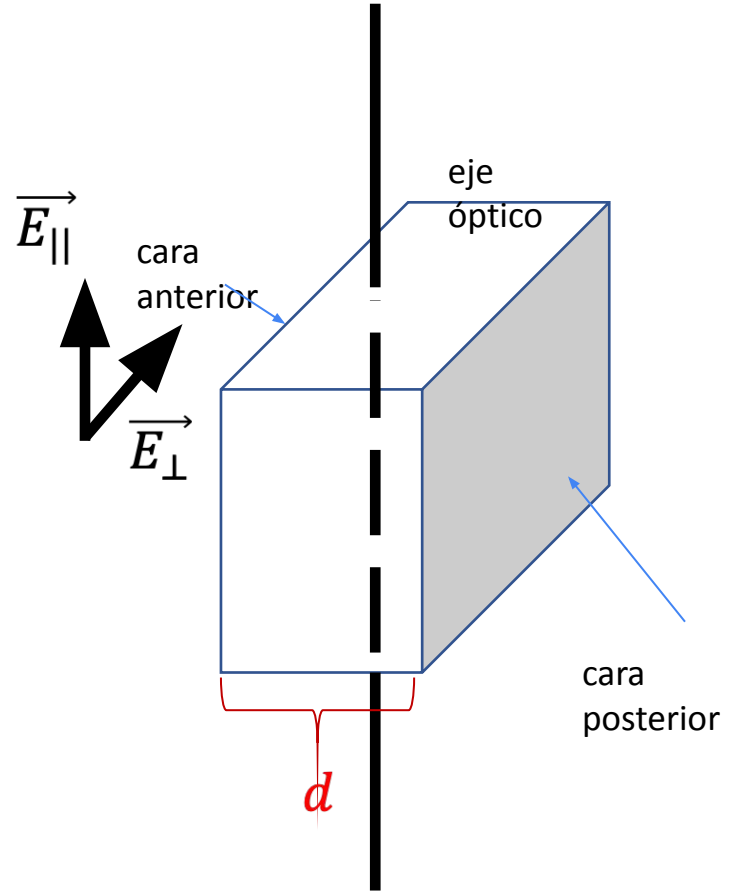
- Para retardadores uniaxiales positivos (cuarzo)

$$\begin{aligned}v_{\parallel} &< v_{\perp} \\ n_{\parallel} &> n_{\perp}\end{aligned}$$

Eje rápido \perp al eje óptico

Láminas retardadoras

- Supongamos una lámina de caras plano paralelas de espesor d , que son a su vez, paralelas al eje óptico del material de la lámina.
- Si el campo eléctrico \vec{E} de una onda monocromática plana tiene componentes paralela y perpendicular al eje óptico \vec{E}_{\parallel} y \vec{E}_{\perp} , estas componentes van a propagarse a distintas velocidades dentro del cristal.

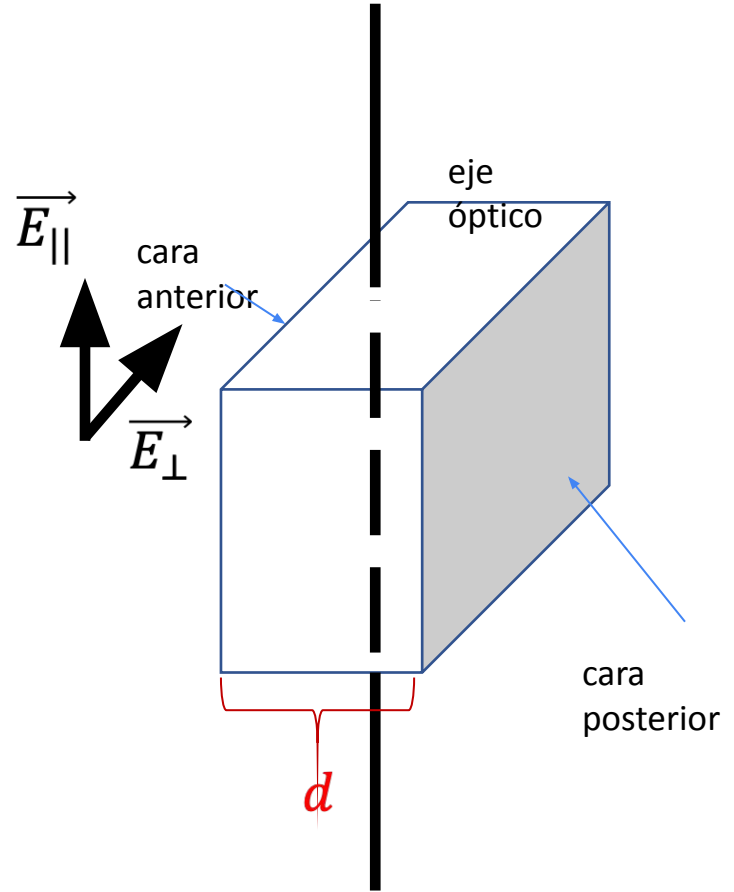


- Luego de atravesar una distancia d , la diferencia de fase acumulada entre $\vec{E}_{||}$ y \vec{E}_{\perp} es

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d (|n_{\perp} - n_{||}|)$$

λ es el valor en el vacío

- El estado final de la polarización dependerá de las amplitudes de $\vec{E}_{||}$ y \vec{E}_{\perp} , pero también de $\Delta\varphi$



Láminas de onda completa

- Son las láminas donde:

$$\Delta\varphi = 2\pi \text{ o cualquier múltiplo}$$

- Como se puede ver, $\Delta\varphi$ depende de λ por eso se llama cromática.
- Si tenemos luz incidente blanca linealmente polarizada, sólo el λ correspondiente va a emerger con la misma polarización.
- Pregunta: ¿con qué polarización emergerá el resto de las λ ?

Láminas de media onda

- Son las láminas donde:

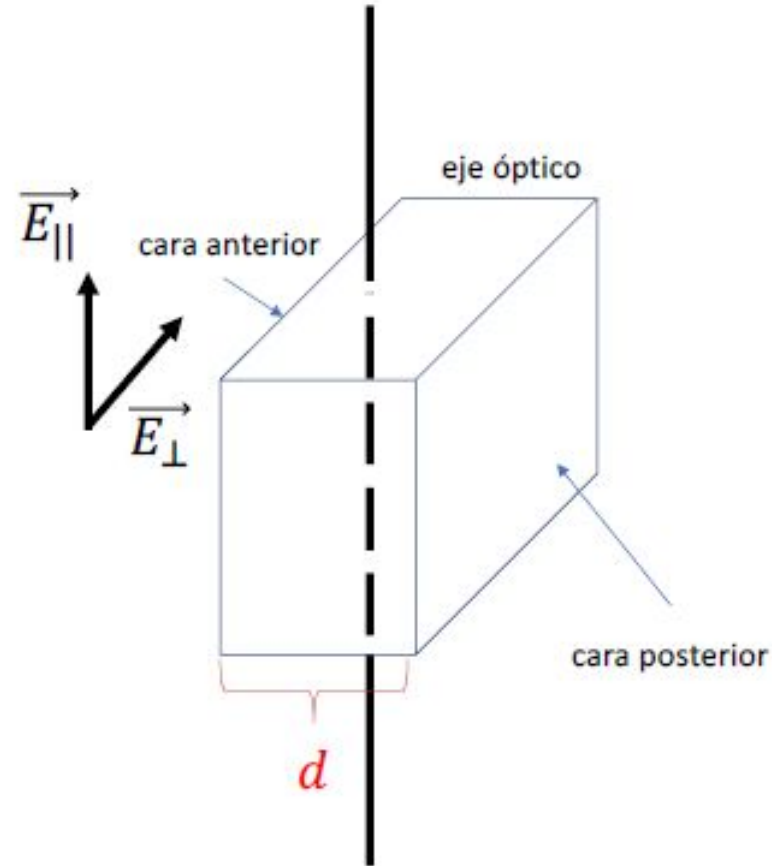
$$\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi\dots$$

- Esto corresponde a materiales donde

$$d(|n_{\perp} - n_{\parallel}|) = \frac{2m + 1}{2} \lambda$$

donde $m = 0, 1, 2 \dots$

- Rota luz linealmente polarizada en 2θ respecto al eje óptico.



Antes de la lámina:

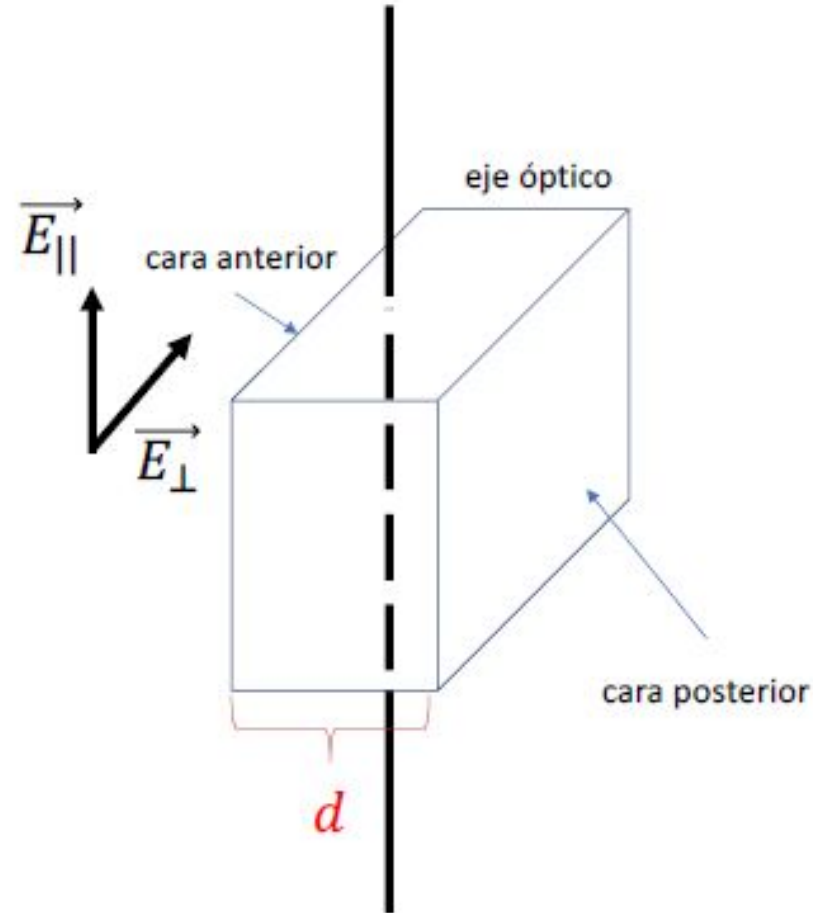
$$E_x = E_o \text{sen}(\theta) \cos(kz - wt)$$

$$E_y = E_o \cos(\theta) \cos(kz - wt)$$

Después de la lámina E_x se atrasa (π):

$$E_x = E_o \text{sen}(\theta) \cos(kz - wt + \pi)$$

$$E_y = E_o \cos(\theta) \cos(kz - wt)$$

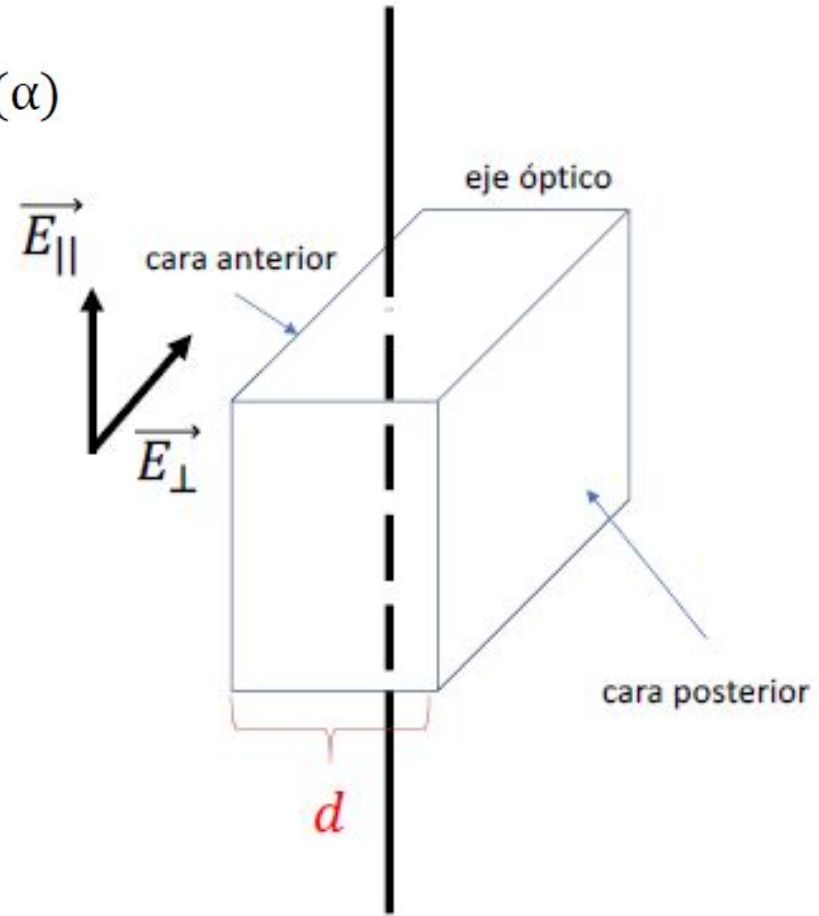


Usando esta relación: $\cos(\alpha + \pi) = -\cos(\alpha)$

Obtenemos:

$$E_x = -\underline{E_o} \sin(\theta) \cos(kz - \omega t)$$

$$E_y = E_o \cos(\theta) \cos(kz - \omega t)$$



Cambia el signo de la componente x del campo E

Láminas de cuarto de onda

- Son las láminas donde:

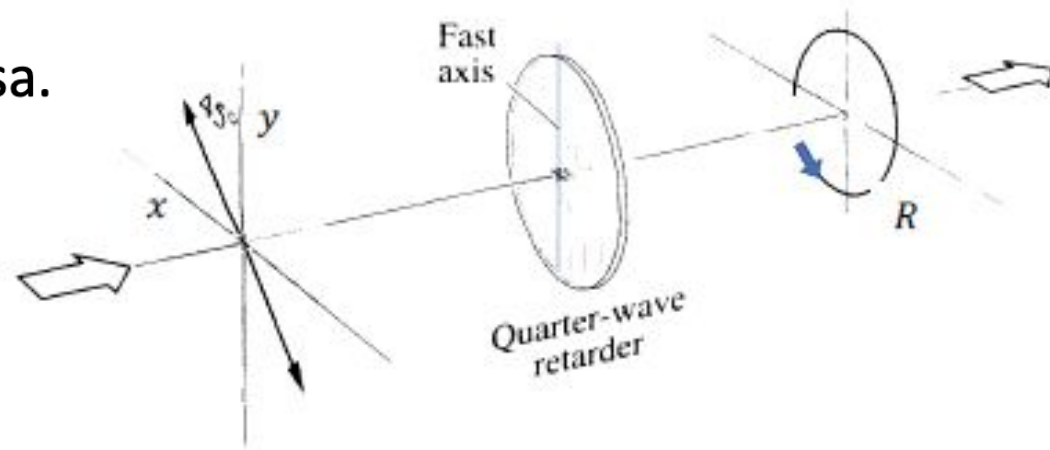
$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$

- Esto corresponde a materiales donde

$$d(|n_{\perp} - n_{\parallel}|) = \frac{4m + 1}{2} \lambda$$

donde $m = 0, 1, 2 \dots$

- Transforma luz linealmente polarizada en elíptica y viceversa.



Antes de la lámina

$$E_{ox} = E_{oy} = E_o$$

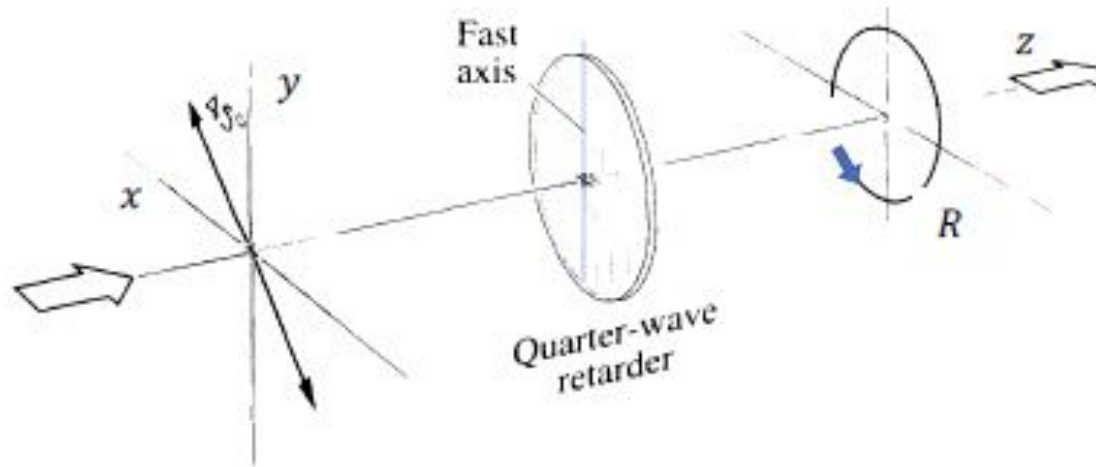
$$E_x = -E_o \cos(kz - \omega t)$$

$$E_y = -E_o \cos(kz - \omega t)$$

Después de la lámina

$$E_x = -E_o \cos(kz - \omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$E_y = -E_o \cos(kz - \omega t)$$



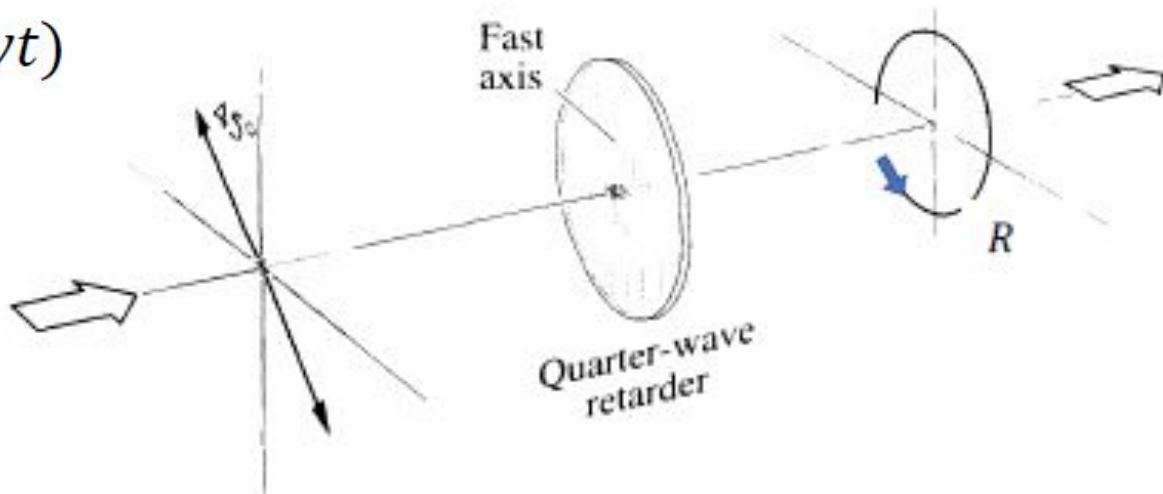
Usando esta relación: $\cos(\alpha + \frac{\pi}{2}) = -\text{sen}(\alpha)$

Obtenemos las siguientes expresiones para las componentes del campo:

$$E_x = -E_o \text{sen}(kz - wt)$$

$$E_y = -E_o \text{sen}(kz - wt)$$

↓
**Esto da una
polarización circular
derecha (horaria
viendo hacia la fuente)**



ACTIVIDAD ÓPTICA

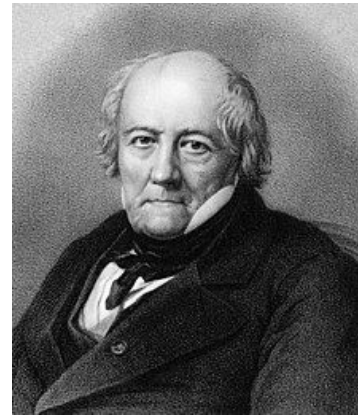
- La manera en la que la luz interactúa con una sustancia material puede proveer información sobre su estructura molecular.
- En 1811 Dominique (François) Arago observa la rotación continua de la dirección de polarización lineal al propagarse la luz sobre el eje óptico del cuarzo



Dominique François Jean Arago

- Al mismo tiempo Biot observa más o menos lo mismo usando vapores y líquidos (aguarrás)

Material ópticamente activo: genera una rotación del campo de una onda lineal plana incidente.

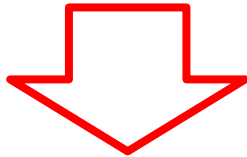


Se diferencian dos tipos de rotaciones:

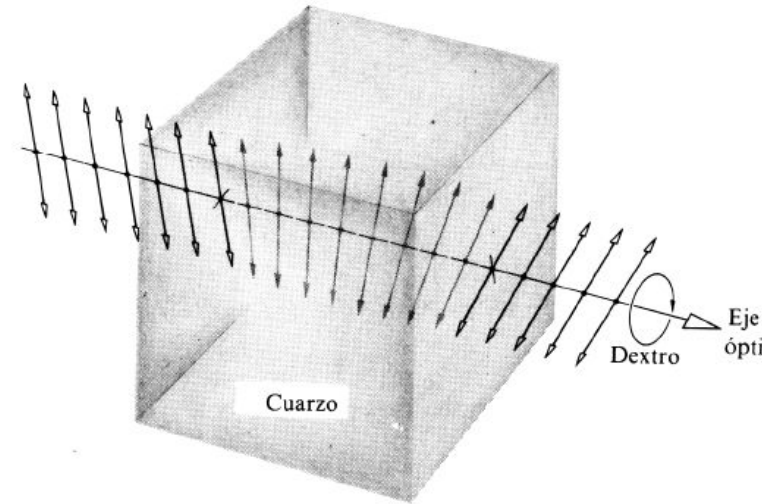
* **Dextrógiras**

(sentido horario mirando a la fuente)

* **Levógiras** (antihorario)



Asociado distintas estructuras cristalinas.



Fresnel (1825): Explicación Fenomenológica

- 1) Planteó que la actividad óptica corresponde a distintos índices de refracción para distintos sentidos de polarización circular (Birrefringencia circular)
- 2) Como la polarización lineal es la suma de dos ondas polarizadas en sentidos opuestos, al entrar en una sustancia ópticamente activa se produce una diferencia de fase entre las ondas polarizadas circularmente lo cual da como resultado una rotación en la dirección de polarización.

Supongamos dos ondas de la misma frecuencia y amplitud polarizadas circularmente en sentidos opuestos:

$$\vec{\mathbf{E}}_{\mathcal{R}} = \frac{E_0}{2} [\hat{\mathbf{i}} \cos (k_{\mathcal{R}}z - \omega t) + \hat{\mathbf{j}} \sin (k_{\mathcal{R}}z - \omega t)] \longrightarrow \text{Derecha}$$

$$\vec{\mathbf{E}}_{\mathcal{L}} = \frac{E_0}{2} [\hat{\mathbf{i}} \cos (k_{\mathcal{L}}z - \omega t) - \hat{\mathbf{j}} \sin (k_{\mathcal{L}}z - \omega t)] \longrightarrow \text{Izquierda}$$

Recordemos:

- 1) que la hipótesis de Fresnel es que hay birrefringencia para los estados de polarización.
- 2) Ambas ondas tienen la misma ω

$$k_{\mathcal{R}} = k_0 n_{\mathcal{R}}$$

$$k_{\mathcal{L}} = k_0 n_{\mathcal{L}}$$

La suma de ambas ondas es:

$$\vec{\mathbf{E}} = \vec{\mathbf{E}}_{\mathcal{R}} + \vec{\mathbf{E}}_{\mathcal{L}},$$

Y usando las relaciones entre k y n nos queda:

$$\vec{\mathbf{E}}_{\mathcal{R}} = \frac{E_0}{2} [\hat{\mathbf{i}} \cos (k_{\mathcal{R}}z - \omega t) + \hat{\mathbf{j}} \sin (k_{\mathcal{R}}z - \omega t)]$$

$$\vec{\mathbf{E}}_{\mathcal{L}} = \frac{E_0}{2} [\hat{\mathbf{i}} \cos (k_{\mathcal{L}}z - \omega t) - \hat{\mathbf{j}} \sin (k_{\mathcal{L}}z - \omega t)]$$

Recordando más id. trigonométricas:

$$\cos \theta + \cos \varphi = 2 \cos \left(\frac{\theta + \varphi}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta - \varphi}{2} \right)$$

$$\sin \theta - \sin \varphi = 2 \cos \left(\frac{\theta + \varphi}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta - \varphi}{2} \right)$$

$$\theta = k_R z - \omega t$$

$$\varphi = k_L z - \omega t$$

$$\frac{\theta + \varphi}{2} = \frac{k_R + k_L}{2} z - \omega t$$

$$\frac{\theta - \varphi}{2} = \frac{k_R - k_L}{2} z$$

Sumando las componentes x e y por separado y sacando factor común:

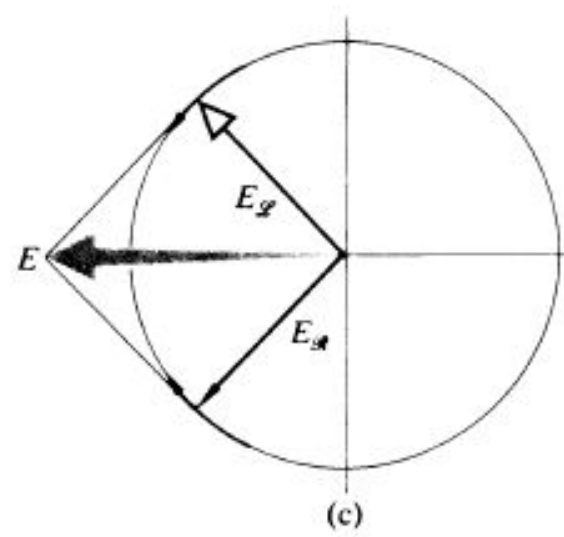
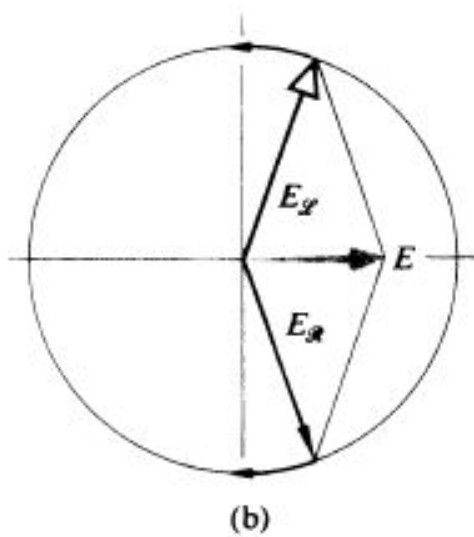
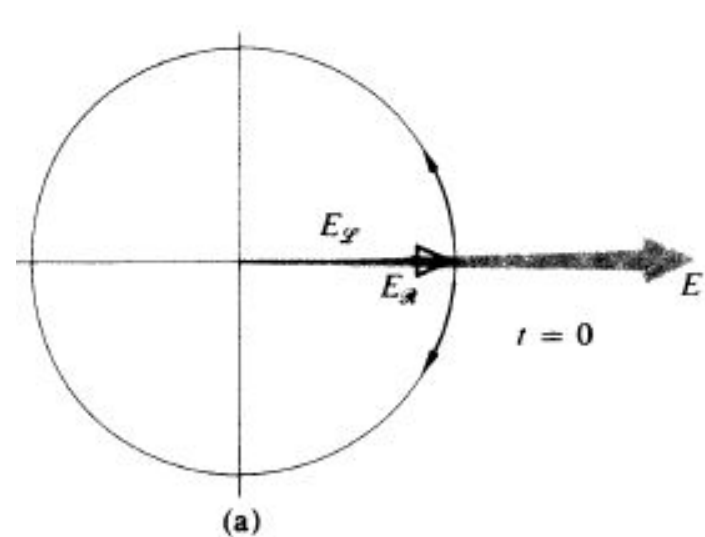
$$\vec{E} = E_0 \cos [(k_R + k_L)z/2 - \omega t] [\hat{i} \cos (k_R - k_L)z/2 + \hat{j} \sin (k_R - k_L)z/2]$$

Oscila en la dirección de este vector

$$\hat{i} \cos \left(\frac{k_R - k_L}{2} z \right) + \hat{j} \sin \left(\frac{k_R - k_L}{2} z \right)$$

Si $z = 0$ es el punto de entrada del material \Rightarrow

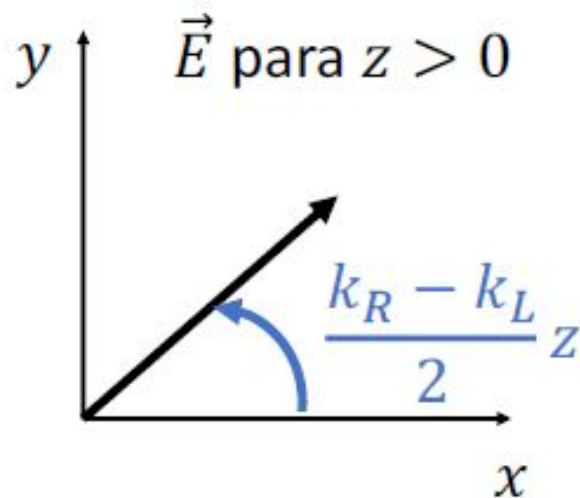
$$\vec{\mathbf{E}} = E_0 \hat{\mathbf{i}} \cos \omega t$$



- Como la oscilación de \vec{E} dentro del material ocurre en la dirección del vector:

$$\hat{i} \cos\left(\frac{k_R - k_L}{2} z\right) + \hat{j} \sin\left(\frac{k_R - k_L}{2} z\right)$$

- La dirección de la polarización lineal depende de z y de k_R y k_L .
- Para $k_R > k_L$ rotación antihoraria.
- Para $k_R < k_L$ rotación horaria.



- Tradicionalmente, el ángulo β de rotación de \vec{E} dentro del material se define **positivo cuando es horario, y negativo cuando es antihorario.**
- Entonces β se define como:

$$\beta(z) = -\frac{k_R - k_L}{2} z$$

- Si el medio tiene un espesor d , el ángulo de rotación β respecto a la entrada es:

$$\beta(d) = \frac{n_L - n_R}{\lambda} \pi d$$

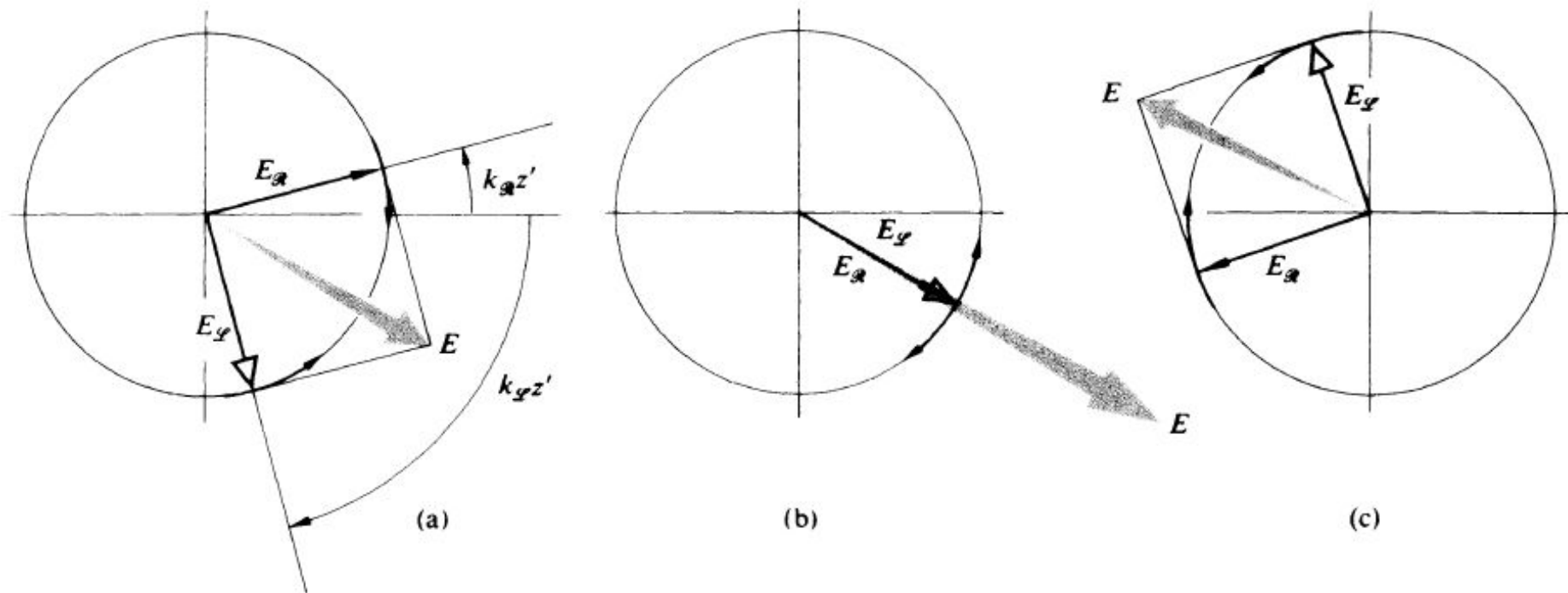


Dextrógiro
 $\beta > 0$
 $n_L > n_R$

Levógiro
 $\beta < 0$
 $n_R > n_L$



Oscilación de \vec{E} para $z > 0$ y $k_L > k_R$ (dextrógiro)



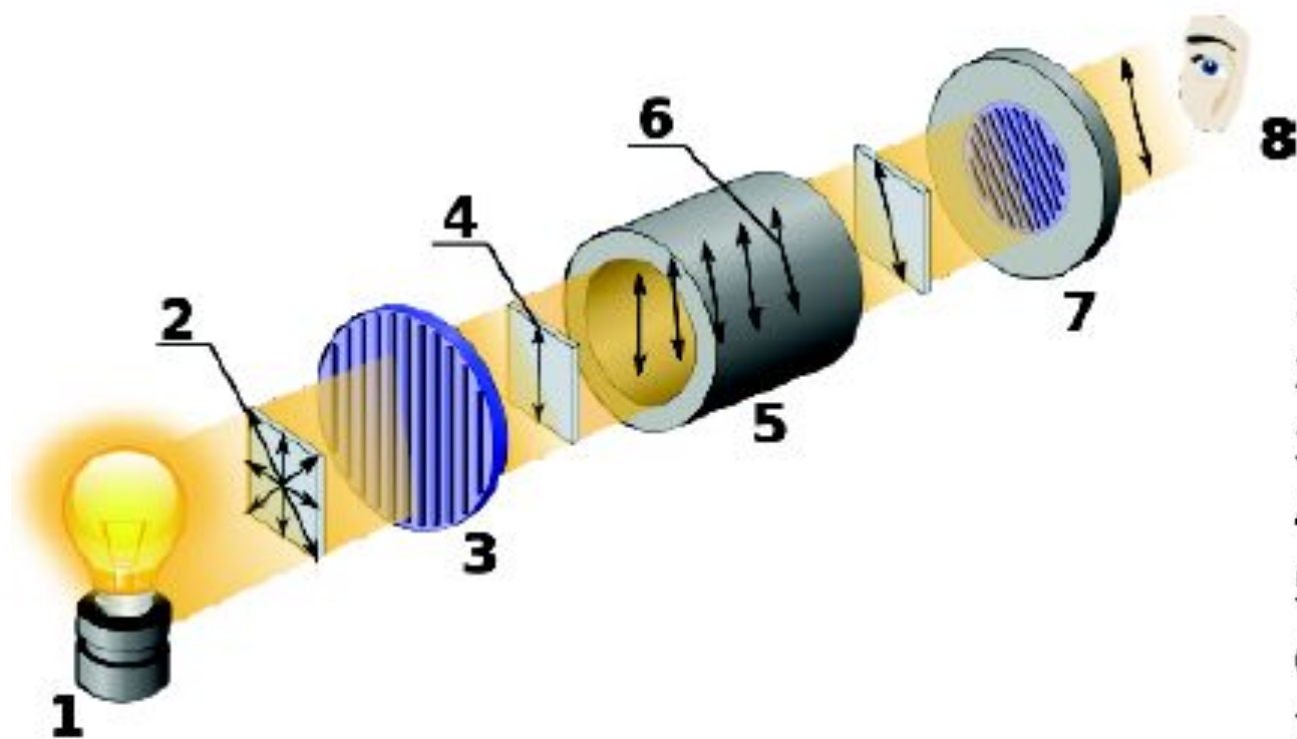
Poder Rotatorio Específico

- El poder rotatorio específico es independiente de la distancia recorrida por la onda. Se define como:

$$\frac{\beta}{d} = \pi \frac{n_L - n_R}{\lambda}$$

- En general se mide en $\frac{\circ}{mm}$ para sólidos y en $\frac{\circ}{cm}$ para líquidos
- Depende de λ . Usualmente referida al doblete del sodio a 25°C

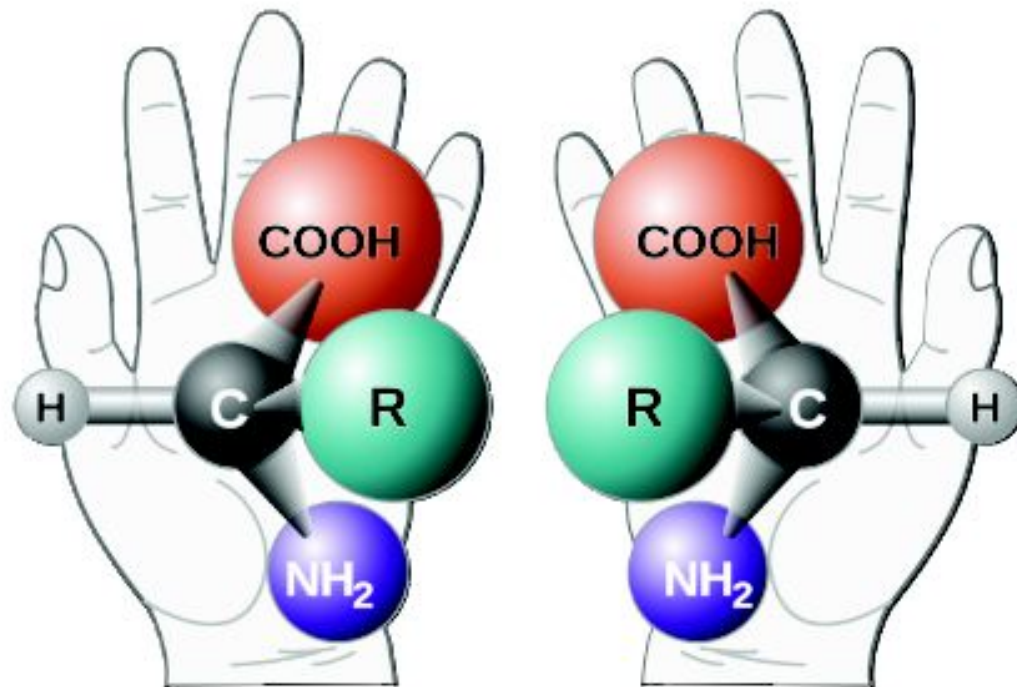
El polarímetro: funcionamiento



1. Fuente monocromática
2. No polarizada
3. Polarizador
4. Polarización vertical
5. Recipiente con muestra
6. Rotación
7. Analizador
8. Observador

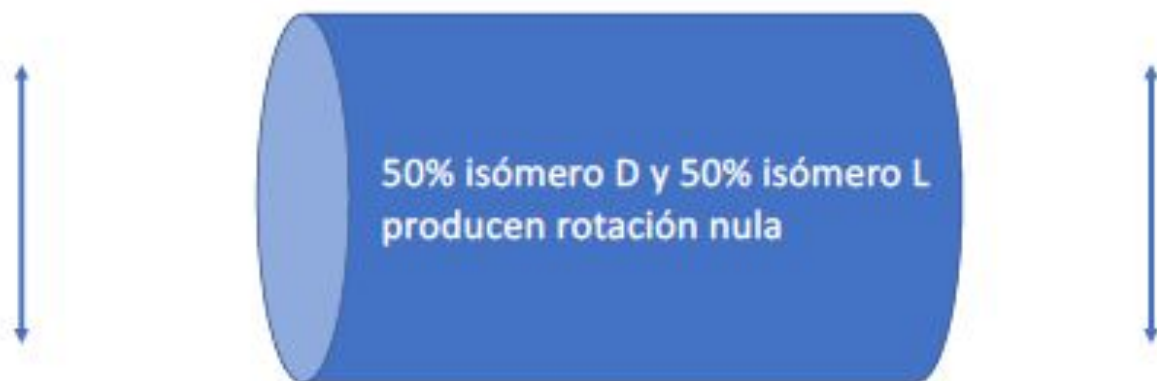
Ejemplos: Estereoisómeros ópticos

- Estereoisómeros ópticos son moléculas de igual composición pero de estructuras especularmente opuestas
- En 1848, Louis Pasteur diferencia estereoisómeros mediante el sentido de rotación de la polarización

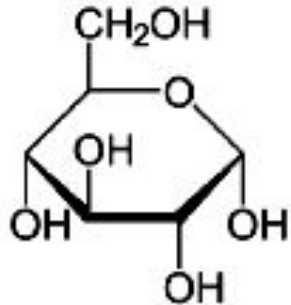


Estereoisómeros

- El grado de rotación de la dirección de polarización depende de la concentración de un estereoisómero respecto al otro.

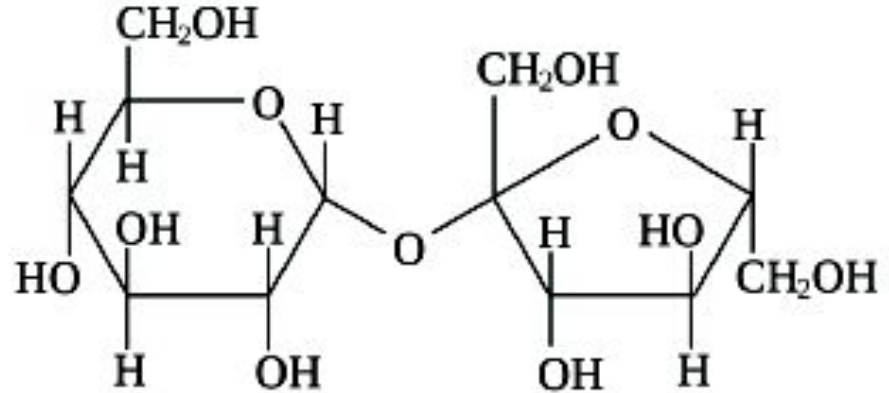


- Cuando se sintetizan moléculas orgánicas en laboratorios se genera igual cantidad de isómeros-L y D.
- Esto no ocurre en la naturaleza.
- Por ejemplo el azúcar o sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) nunca aparece en forma L, siempre en forma D.
- Otro ejemplo es la D-Glucosa



D-Glucosa

Sustancias biológicas ópticamente activas



Sacarosa

Received: 9 June 2021

Revised: 21 July 2021

Accepted: 23 July 2021

DOI: 10.1002/chir.23349

SPECIAL ISSUE ARTICLE

Chirality

WILEY

Pasteur and chirality: A story of how serendipity favors the prepared minds

Ghislaine Vantomme¹  | Jeanne Crassous² 

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/chir.23349>