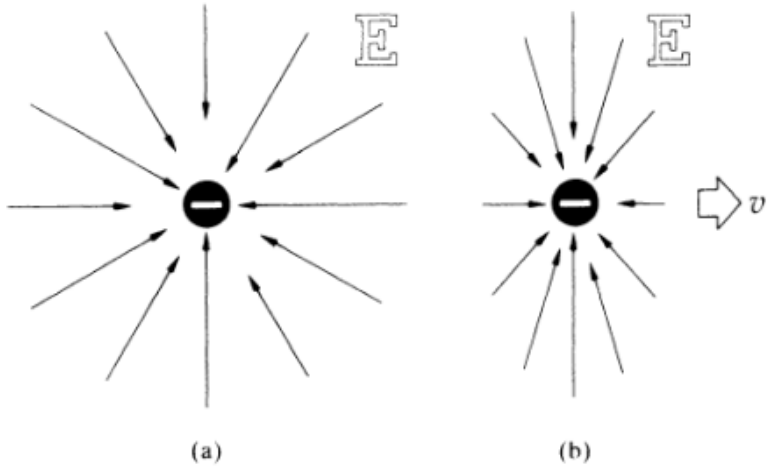
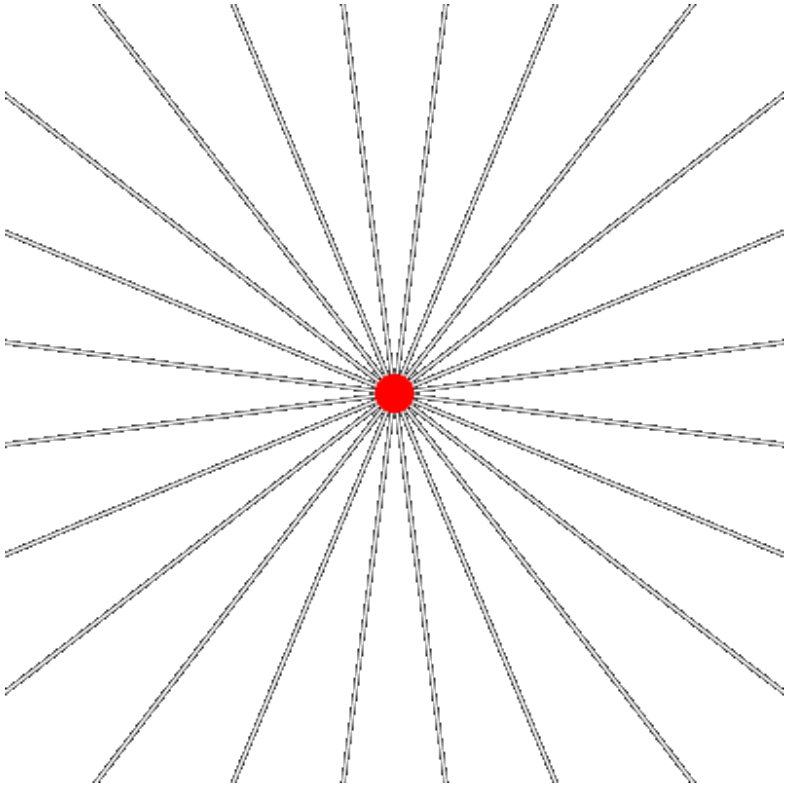
Conceptos Básicos de Radiación

- Vimos que una cargas en reposo generan campos eléctricos.
- Las cargas en movimiento uniforme generan campos magnéticos estacionarios



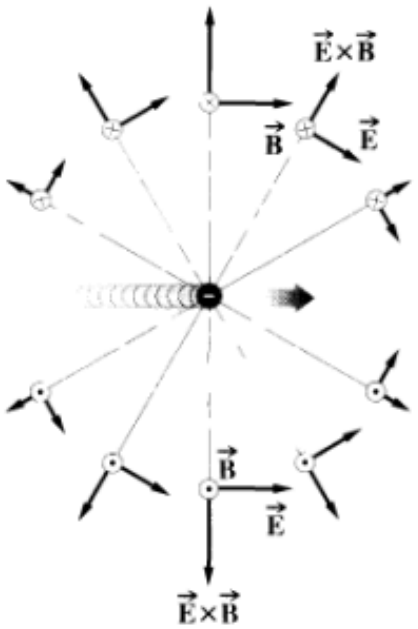
Conceptos Básicos de Radiación

- Cuando una carga se acelera se genera un pulso eléctrico y magnético que se propaga llevando la información sobre la aceleración de la carga.



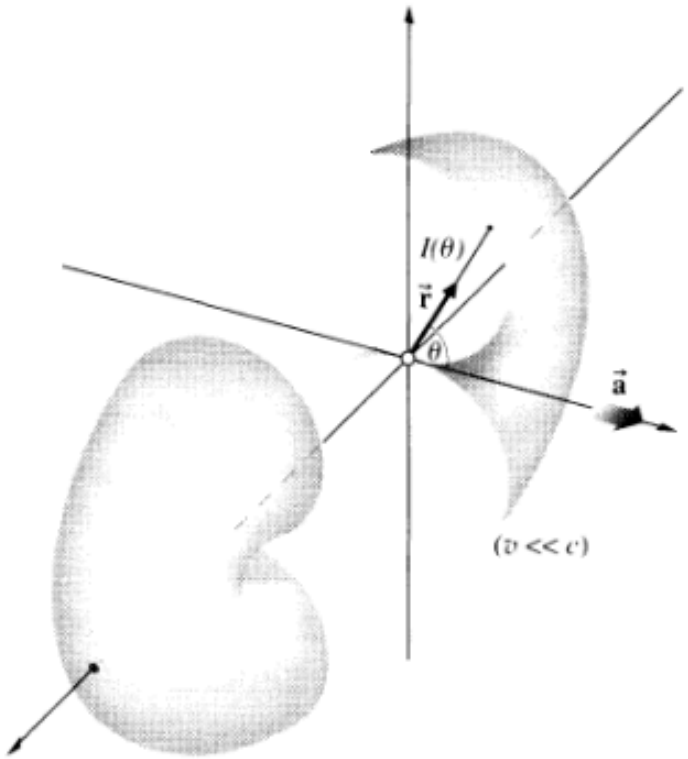
Conceptos Básicos de Radiación

- Cuando una carga se acelera se genera un pulso eléctrico y magnético que se propaga llevando la información sobre la aceleración de la carga.
- Los campos variables viajeros así generados conforman la radiación.



Conceptos Básicos de Radiación

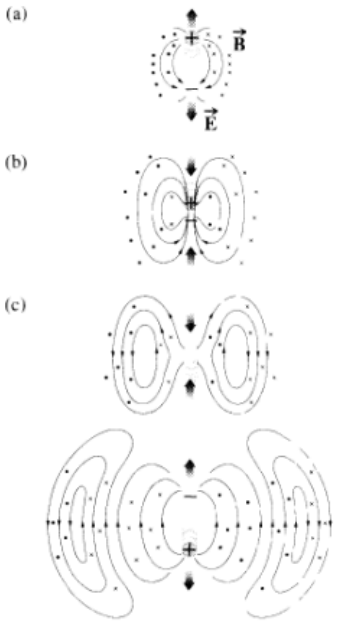
- Cuando una carga se acelera se genera un pulso eléctrico y magnético que se propaga llevando la información sobre la aceleración de la carga.
- Los campos variables así generados conforman la radiación.
- Lejos de la carga es posible demostrar que la radiación se emite mayormente en la dirección perpendicular a la aceleración.

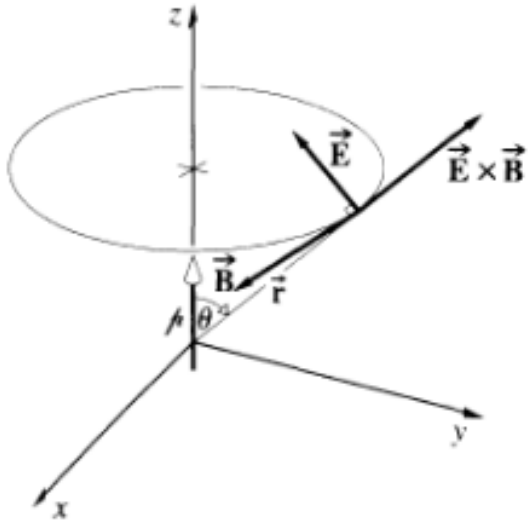


Radiación dipolar eléctrica (antena)

- La forma más simple de radiación proviene de la oscilación a frecuencia ω de dipolos eléctricos.
- Los electrones se mueven más rápido que los núcleos.
- Lejos del dipolo el campo eléctrico se aproxima por:

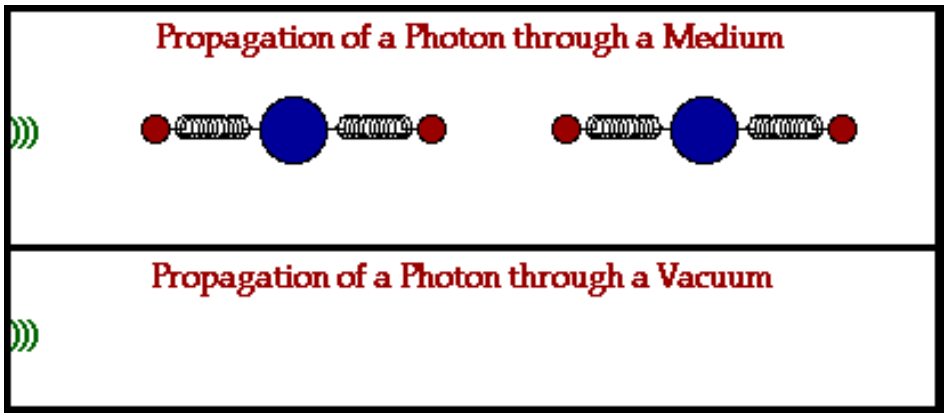
$$E = \frac{\mu_0 k^2 \sin\theta}{4\pi\epsilon_0} \frac{\cos(kr - \omega t)}{r}$$





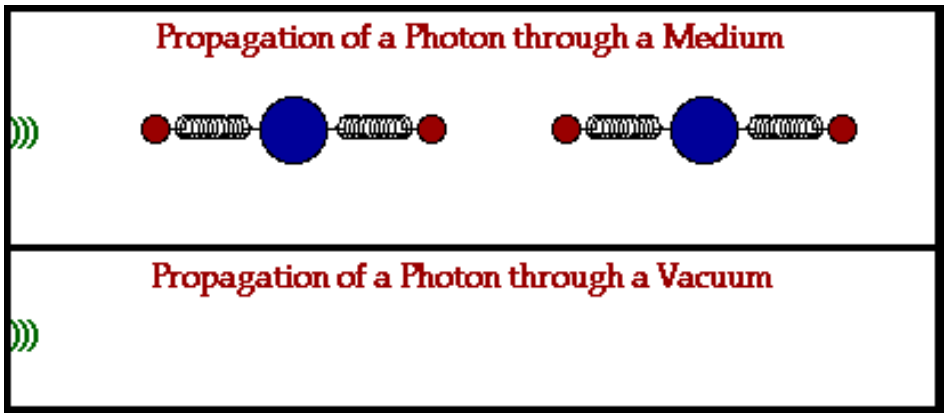
Propagación de la luz en medios transparentes

- Muchas substancias transparentes cristalinas son ópticamente anisotrópicas.
- Esta anisotropía resulta en diferentes propiedades ópticas para distintas direcciones del campo eléctrico de una onda luminosa.
- Esto sucede por la manera en la que se propaga la luz en un medio transparente.



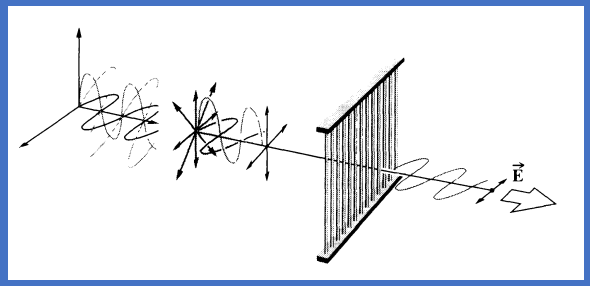
Propagación de la luz en medios transparentes

- El campo eléctrico de la onda de luz acelera los electrones de los átomos.
- Estos, se moverán aceleradamente en respuesta al campo eléctrico de la onda y a las fuerzas eléctricas que lo unen al átomo
- Al estar acelerados, los electrones emiten radiación, la cual a su vez acelera electrones vecinos.



Polarización por Dicroismo

- Absorción selectiva de una componente de un haz incidente a lo largo de una sola dirección

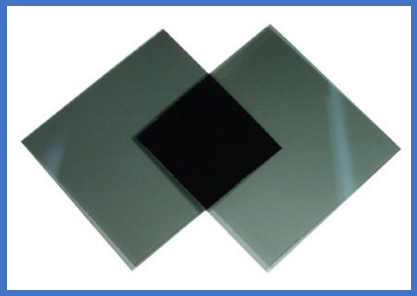


Polarizador de rejilla

Conjunto de alambres en una misma dirección. Eje de transmisión es perpendicular a los alambres

Cristales dicroicos

Compuestos anisótropos en su estructura cristalina. Ejemplo: turmalina (silicatos)

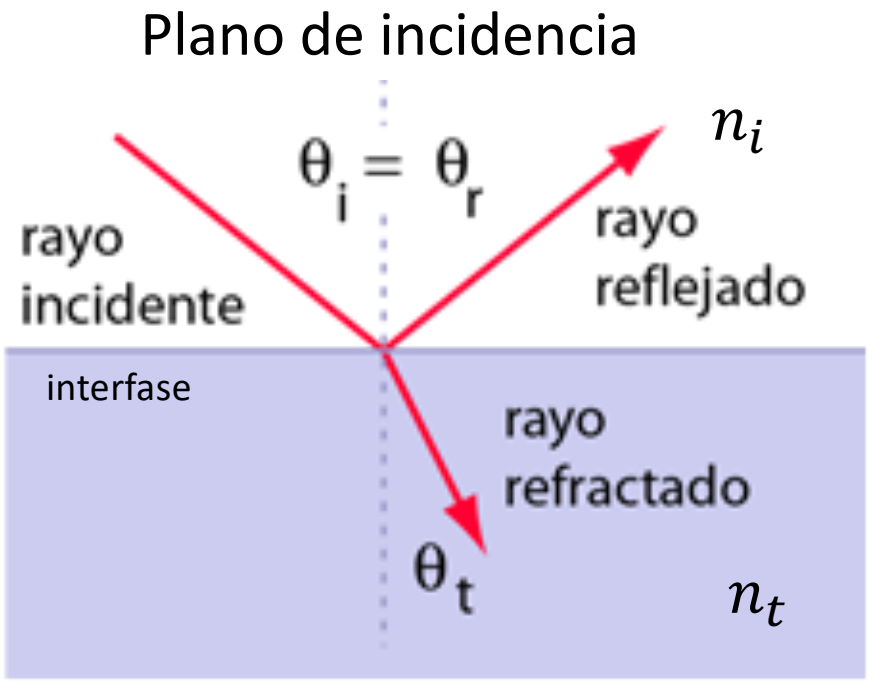


Polaroid

Láminas de material dicroico desarrollado artificialmente. Opera en banda óptica principalmente

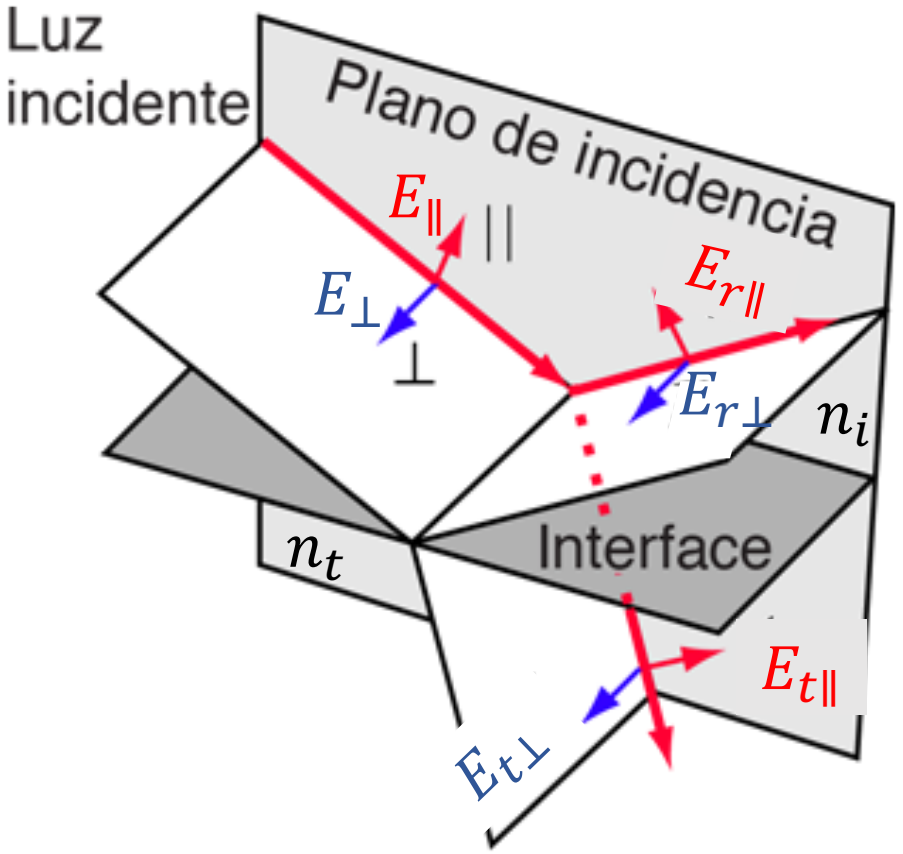
Polarización por Reflexión

- Uno de los casos más comunes de polarización es el causado por la **reflexión** de luz no polarizada en un **dieléctrico**.
- Supongamos una interfase entre dos medios de índices de refracción n_i y n_t.
- Por las leyes de reflexión y Snell sabemos que habrá un rayo reflejado y otro refractado a ángulos $\theta_r = \theta_i$ y θ_t.
- Los rayos incidente, reflejado y refractado junto con la normal están en el mismo plano, el **plano de incidencia.**



Polarización por Reflexión

- Supongamos que la luz incidente es **no polarizada.**
- Separemos las componentes del campo eléctrico incidente en una componente **paralela $E_{\parallel}$ y otra perpendicular $E_{\perp}$ al plano de incidencia.**
- Hacemos lo mismo con los campos reflejados y refractados.
- Las ecuaciones de Fresnel relacionan los campos reflejados y refractados en función de los campos incidentes

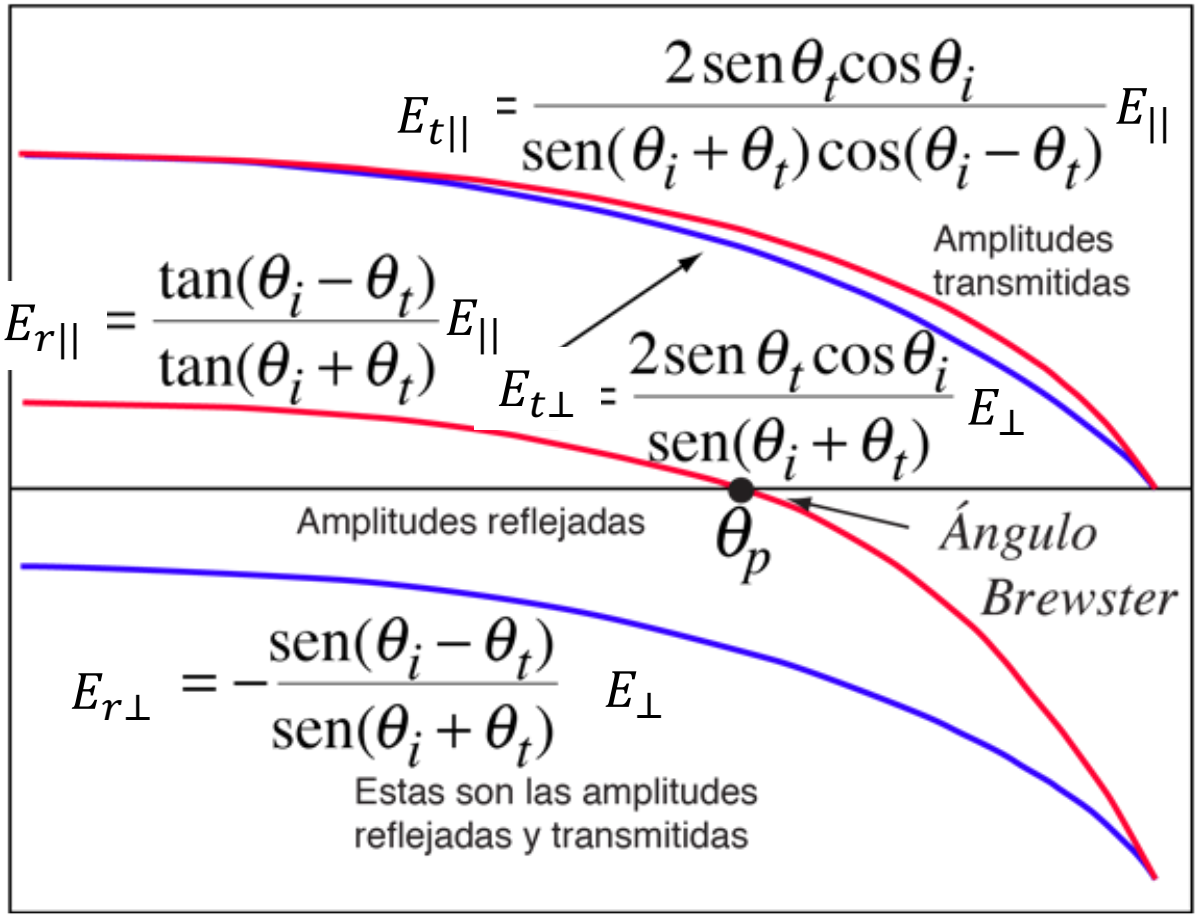


Polarización por reflexión: Ecuaciones de Fresnel

- Las ecuaciones de Fresnel se deducen de las ecuaciones de Maxwell.
- En particular vemos que existe un valor para el ángulo de incidencia $\theta_i = \theta_p$ donde

$$E_{r||} = 0$$

- En esta situación el rayo reflejado está completamente polarizado en la dirección perpendicular al plano de incidencia



Polarización por Reflexión: Angulo de Brewster

- La condición para que la componente paralela al plano de incidencia no aparezca en el rayo reflejado es: $\theta_i = \theta_p$ tal que:

$$\theta_p + \theta_t = 90^\circ$$

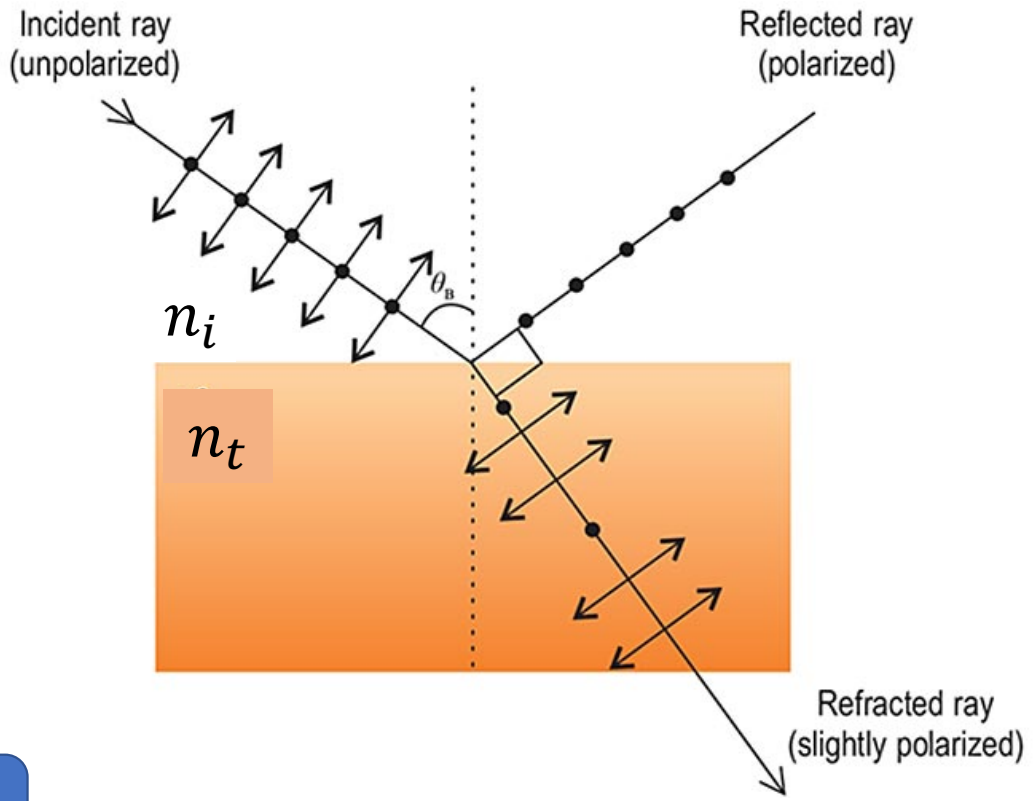
- Reemplazando en la ley de Snell

$$n_i \sin\theta_p = n_t \sin(90^\circ - \theta_p)$$

- Entonces:

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

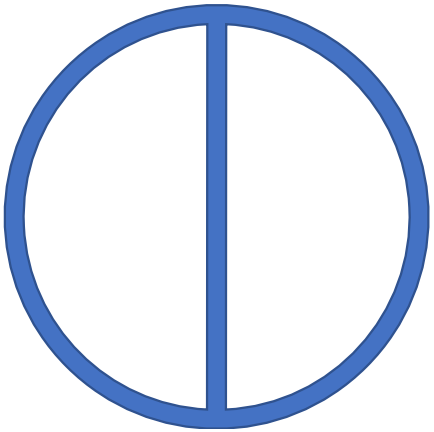
θ_p se denomina ángulo de Brewster

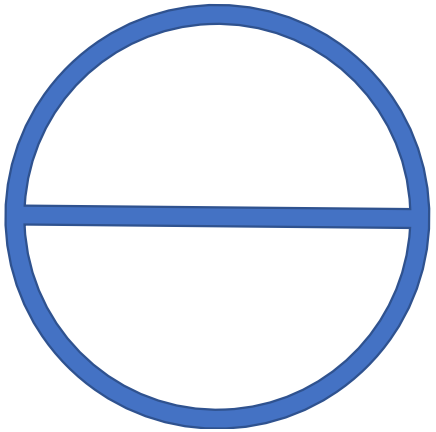


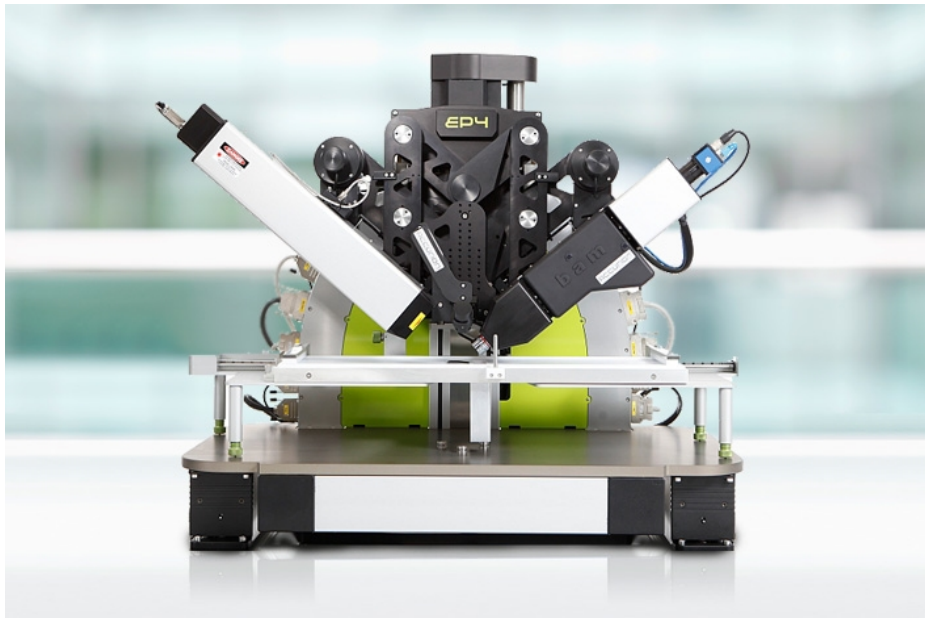
Con luz del sol reflejada en la ventana

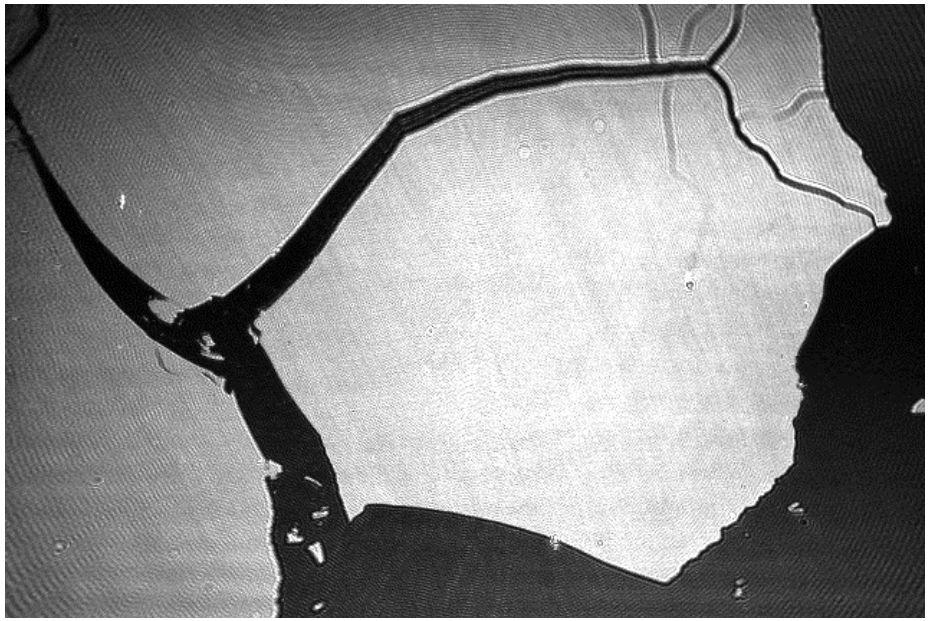
Sin luz del sol reflejada en la ventana

Polarizador





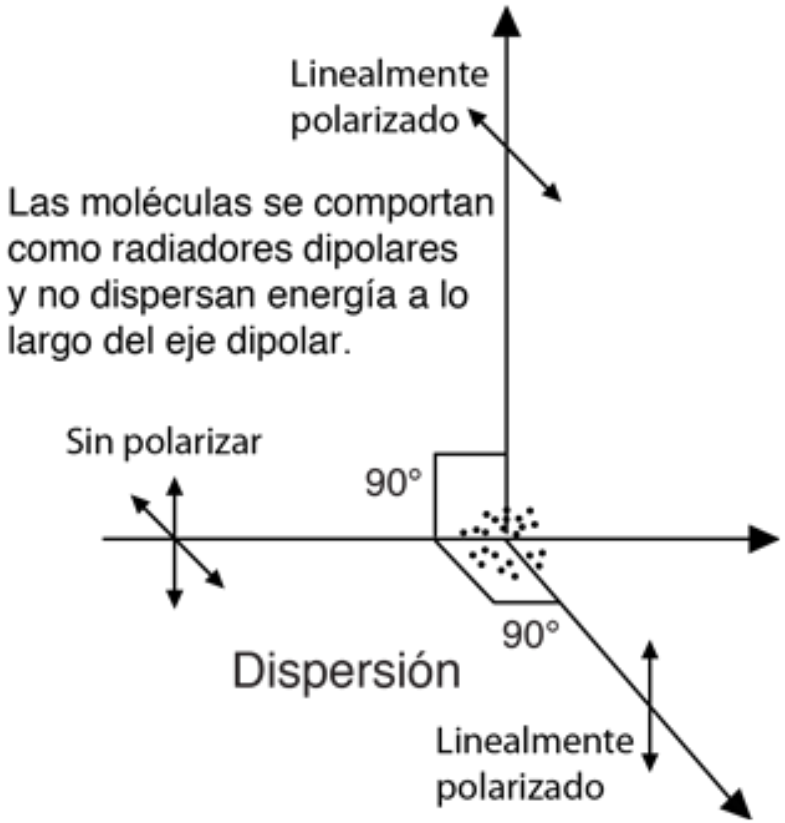




Aplicaciones: Microscopios ángulo de Brewster

- Para estudiar partículas en interfases aire/líquido.
- Se observa la superficie del líquido en la dirección de θ_p con lo cual, la imagen del líquido puede suprimirse
- Eso permite ver partículas en la interfase, las cuales no reflejan la luz con el mismo θ_p.

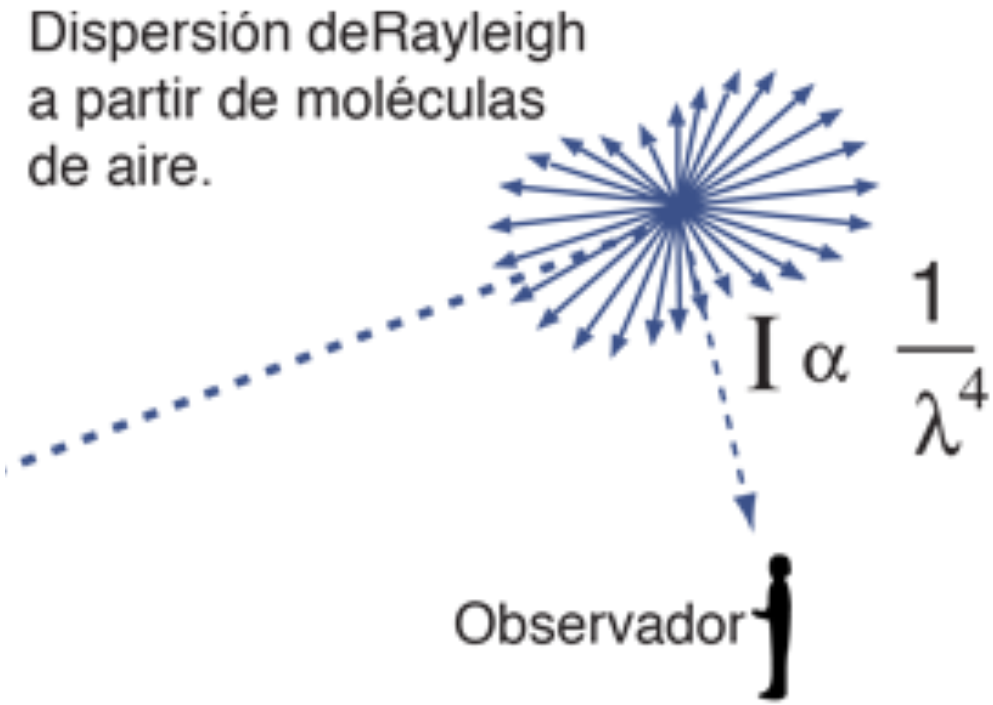
Polarización por dispersión



- Los dispersores se pueden visualizar como pequeñas antenas que irradian perpendicularmente a sus líneas de oscilación.
- Si en una molécula las cargas están oscilando a lo largo del eje y, no irradiarán a lo largo de este eje.
- De esta manera a 90^{o} de la dirección del haz, la luz dispersada esta polarizada linealmente.

Efecto del cielo azul

- El color azul del cielo tiene origen en la dispersión que producen las moléculas de la atmósfera sobre la luz solar.
- Esta dispersión llamada dispersión de Rayleigh, es más eficiente a longitudes visible de onda corta.
- Por lo tanto, la luz dispersada a la Tierra está predominantemente en el extremo azul del espectro.
- Dicha luz dispersada se encuentra polarizada



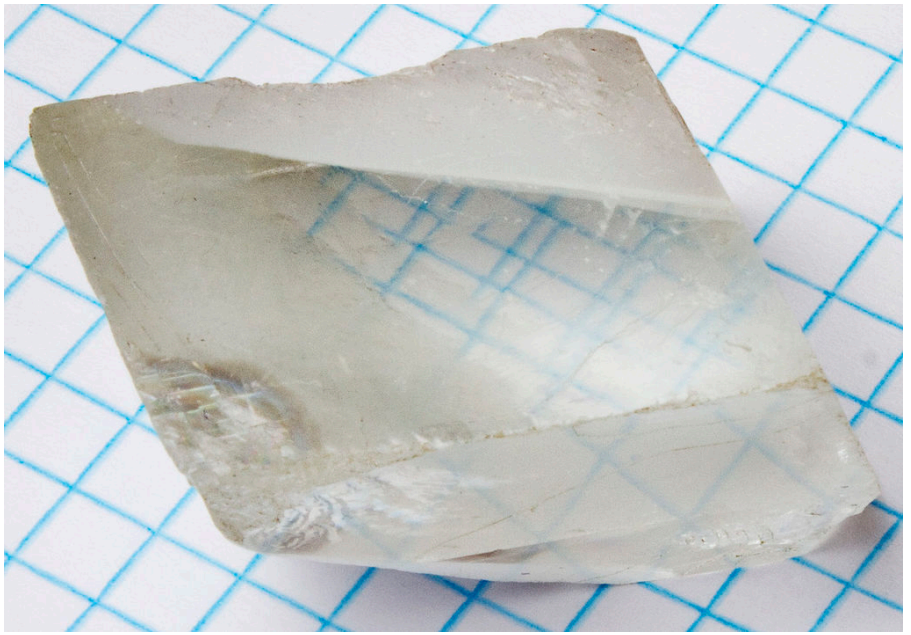
Birrefringencia

Birrefringencia

- Las anisotropías en la estructura de los materiales hacen que la propagación no tenga lugar a la misma velocidad en todas direcciones.

- En otras palabras, se tendrán distintos índices de refracción para distintas direcciones del campo eléctrico.

- Materiales que muestran **dos índices de refracción diferentes** son denominados **birrefringentes.**



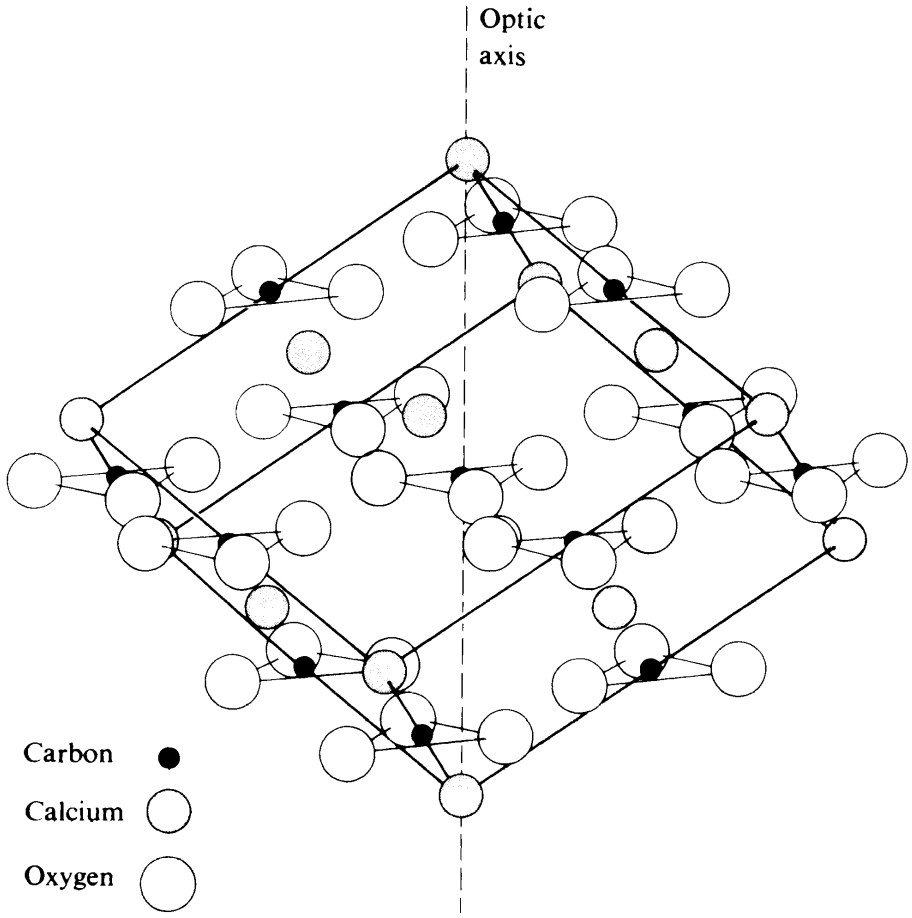
calcita mostrando doble refracción

Birrefringencia

- Los materiales birrefringentes se caracterizan por poseer una dirección característica que determina el valor del índice de refracción en la dirección paralela y perpendicular a ella.

- Esta dirección es la del **eje óptico**

- **El eje óptico no es una línea, es una dirección.**



Calcita: Estructura cristalina y eje óptico.

Birrefringencia

- Ciertos cristales de estructura hexagonal, tetragonal y trigonal poseen solo un eje óptico
- Se denominan uniaxiales.
- Poseen dos índices de refracción

$$n_{\parallel} = \frac{c}{v_{\parallel}} \ (\vec{E} \text{ paralelo al eje óptico})$$

$$n_{\perp} = \frac{c}{v_{\perp}} \ (\vec{E} \text{ perpendicular al eje óptico})$$

- La resta $\Delta n \equiv (n_{\parallel} - n_{\perp})$ es una medida de la birrefringencia.

TABLE 8.1 Refractive Indices of Some Uniaxial Birefringent Crystals ($\lambda_0 = 589.3$ nm)

Crystal	perpendicular al eje optico n_o	paralelo al eje optico n_e
Tourmaline	1.669	1.638
Calcite	1.6584	1.4864
Quartz	1.5443	1.5534
Sodium nitrate	1.5854	1.3369
Ice	1.309	1.313
Rutile (TiO_2)	2.616	2.903

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)

$$v_{\parallel} > v_{\perp}$$
$$n_{\parallel} < n_{\perp}$$

Eje rápido ∥ al eje óptico

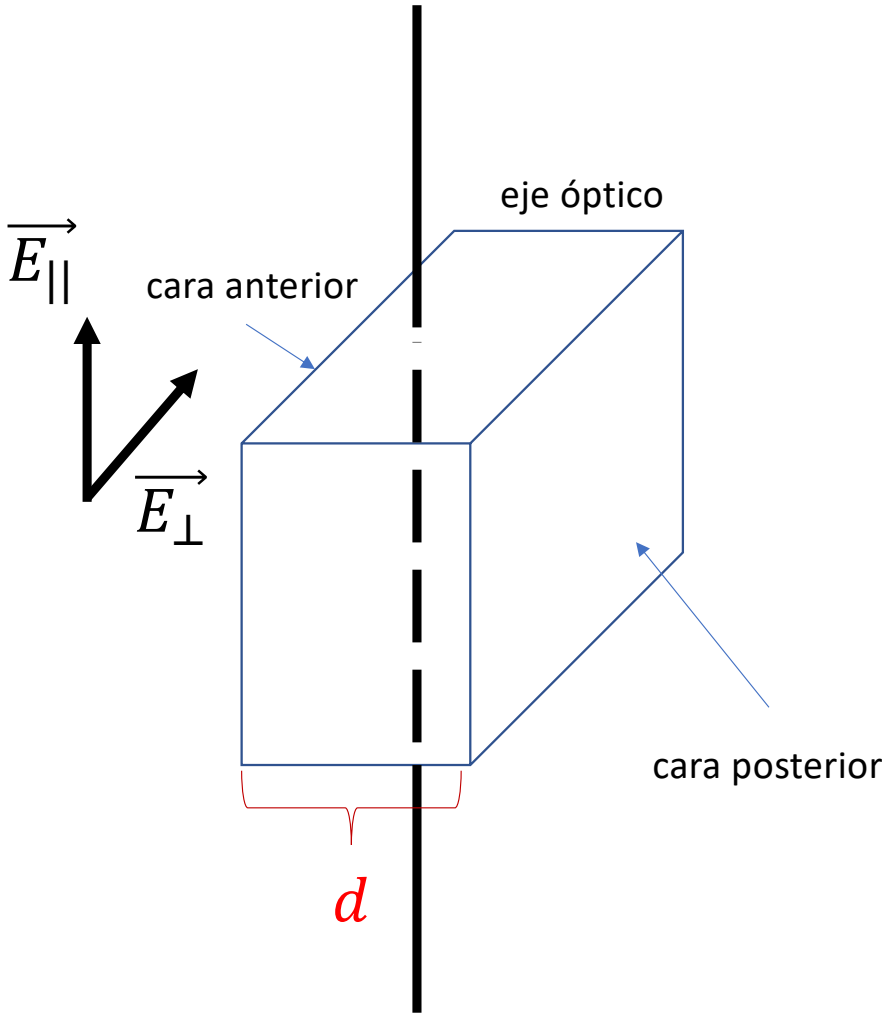
- Para retardadores uniaxiales positivos (cuarzo)

$$v_{\parallel} < v_{\perp}$$
$$n_{\parallel} > n_{\perp}$$

Eje rápido ⊥ 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 optico $\overrightarrow{E_{||}}\ y\ \overrightarrow{E_{\perp}}$, estas componentes van a propagarse a distintas velocidades dentro del cristal.



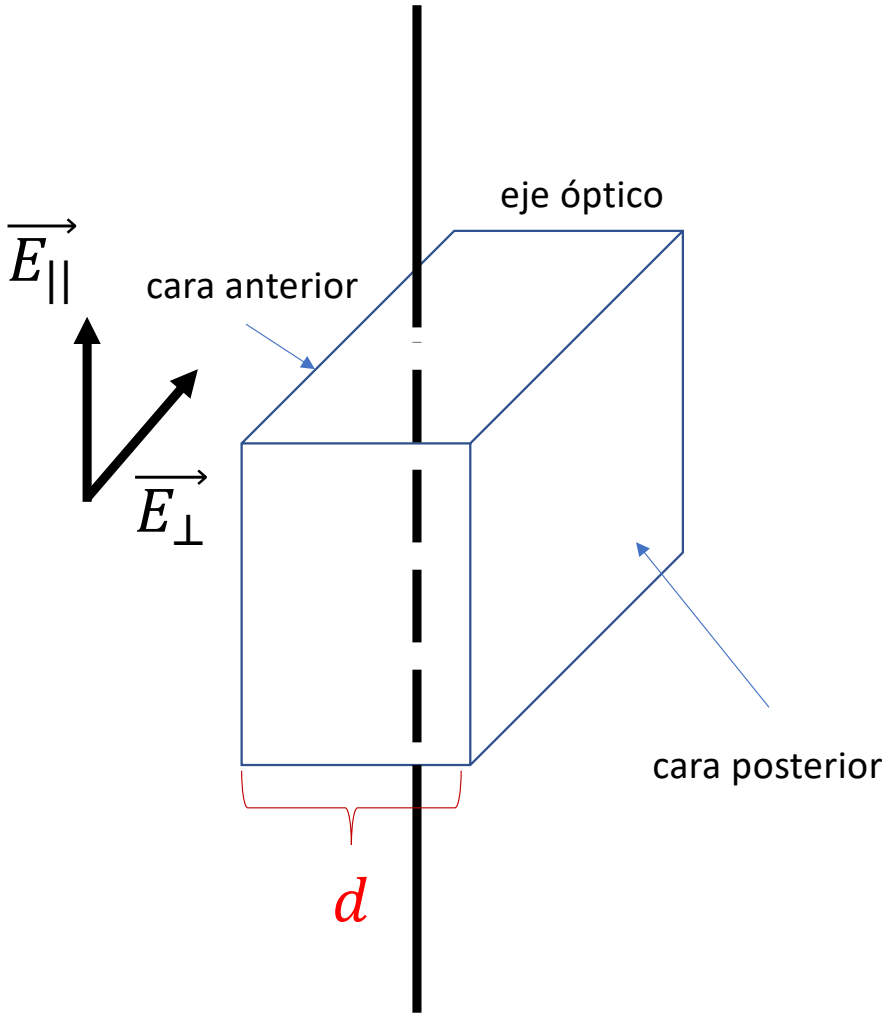
Láminas retardadoras

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

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

λ es el valor en el vacío

- El estado final de la polarización dependerá de las amplitudes de $\overrightarrow{E_{||}}$ y $\overrightarrow{E_{\perp}}$, 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:

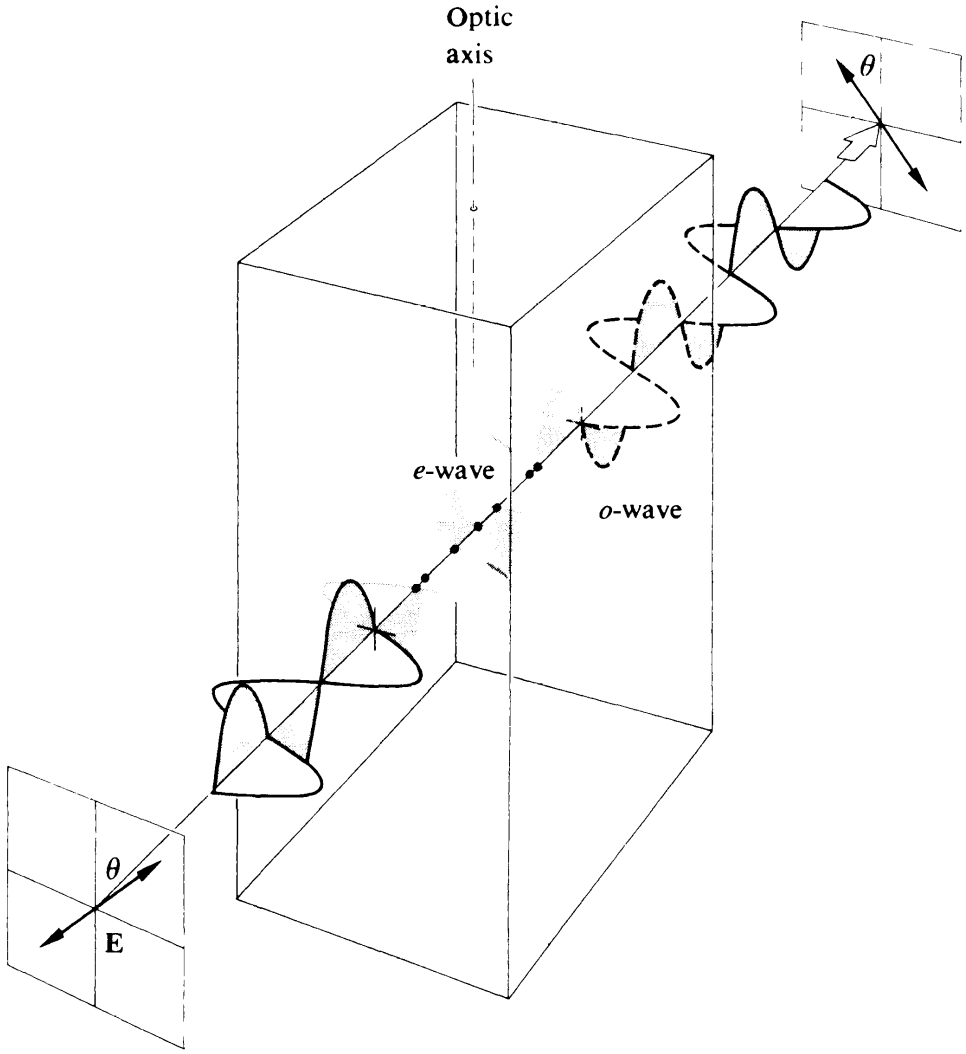
$$\Delta\varphi = \pi, 3\pi, 5\pi \ldots$$

- Esto corresponde a materiales donde

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

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

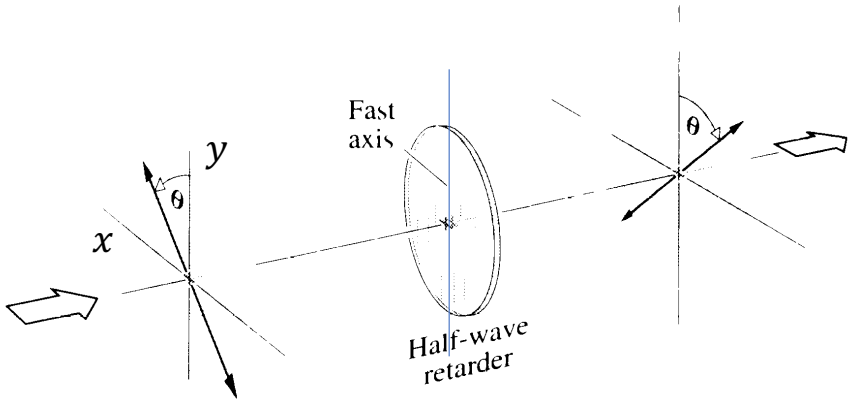
- Rota luz linealmente polarizada en 2θ respecto al eje optico.



Láminas de media onda

- Antes de la lámina

$$E_x = E_0 \sin\theta \cos(kz - \omega t)$$
$$E_y = E_0 \cos\theta \cos(kz - \omega t)$$



- Después de la lámina E_x se atrasa π

$$E_x = E_0 \sin\theta \cos(kz - \omega t + \pi)$$
$$E_y = E_0 \cos\theta \cos(kz - \omega t)$$

Láminas de media onda

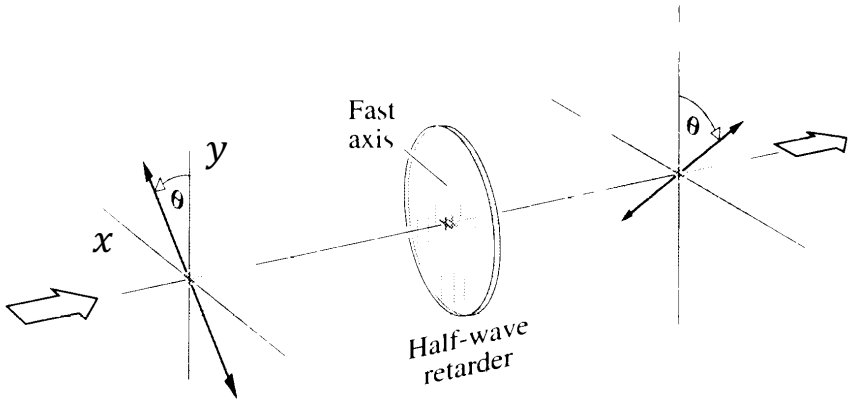
pero

$$\cos(\alpha+\pi) = -\cos(\alpha)$$

$$\Rightarrow E_x = -E_0 \sin(\theta) \cos(kz-\omega t)$$

$$E_y = E_0 \cos\theta \cos(kz-\omega t)$$

E_x se invierte de signo



Láminas de cuarto de onda

- Son las láminas donde:

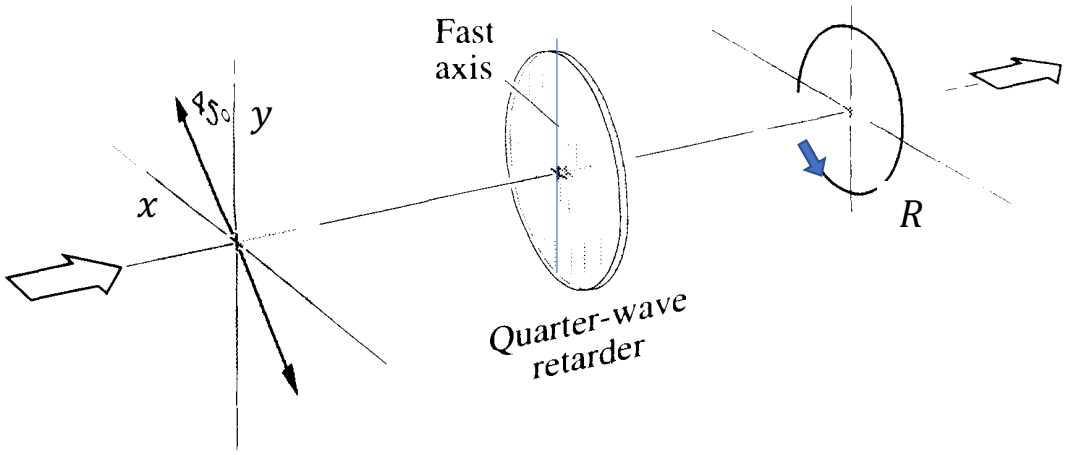
$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$

- Esto corresponde a materiales donde

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

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

- Transforma luz linealmente polarizada en elíptica y viceversa.



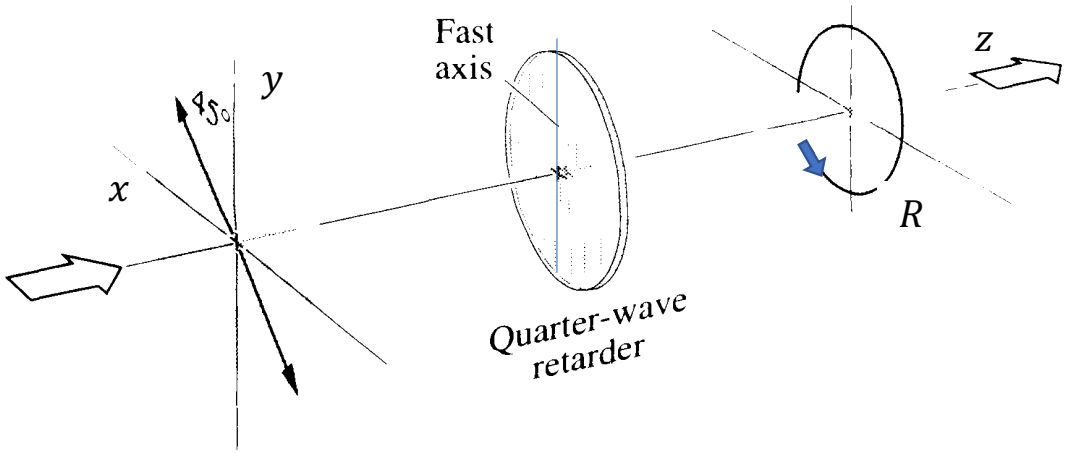
Láminas de cuarto de onda

- Antes de la lámina $E_{0x} = E_{0y} = E_0$

$$E_x = E_0 \cos(kz - \omega t)$$
$$E_y = E_0 \cos(kz - \omega t)$$

- Después de la lámina

$$E_x = E_0 \cos\left(kz - \omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$
$$E_y = E_0 \cos(kz - \omega t)$$



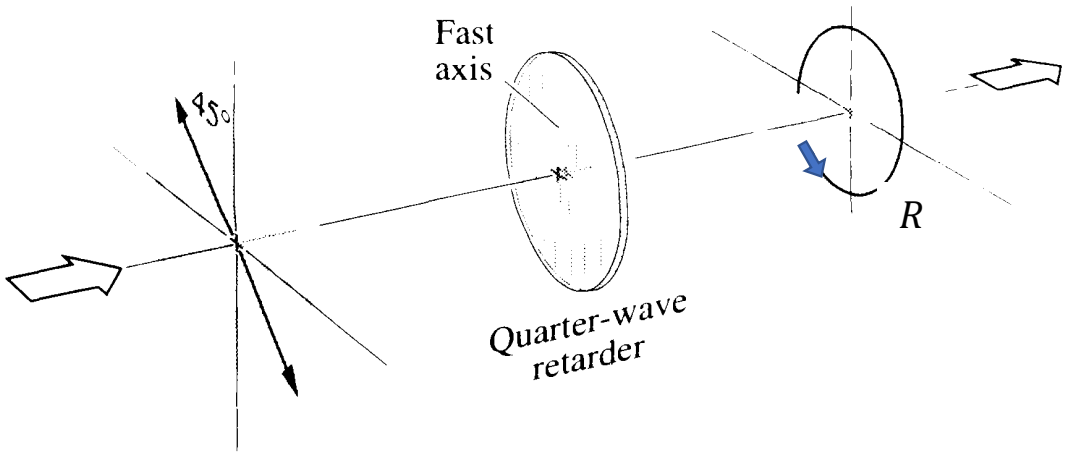
Láminas de cuarto de onda

Como $\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{2}\right) = -\sin\alpha$

Entonces

$E_x = -E_0 \sin(kz-\omega t)$

$E_y = E_0 \cos(kz-\omega t)$



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

Actividad óptica

Actividad óptica

- La manera en la que la luz interactúa con una substancia material puede proveer información sobre su estructura molecular.

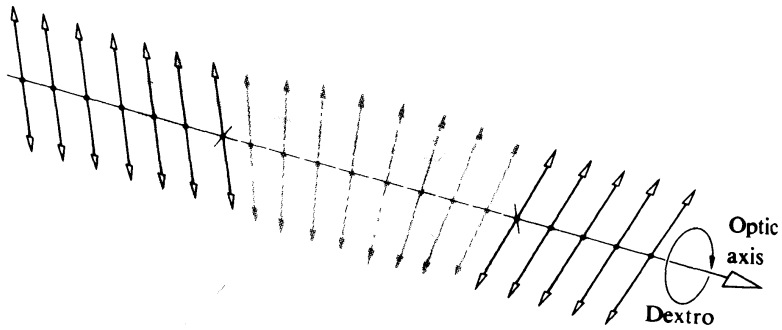
- En 1811 Dominique (François) Arago observa la rotación contínua de la dirección de polarización lineal al **propagarse la luz sobre el eje óptico** del cuarzo

Dominique François Jean Arago

Actividad óptica

- Todo material que genera una rotación del campo $\vec{E}$ de una onda lineal plana incidente se denomina **opticamente activo.**
- Al mismo tiempo que Arago, Jean Baptiste Biot diferencia rotaciones:
  - **Dextrógiras** (sentido horario mirando a la fuente)
  - **Levógiras** (antihorario)
- Distintos sentidos corresponden a distintas estructuras cristalinas.

Jean Baptiste Biot



rotación dextrógira del cuarzo

Explicación fenomenológica de Fresnel

- Planteó que la actividad óptica corresponde a distintos índices de refracción para distintos sentidos de polarización circular (Birrefringencia circular)

- Como la polarización lineal es la suma de dos ondas polarizadas en sentidos opuestos, al entrar en una substancia 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.

Augustin-Jean Fresnel

Explicación fenomenológica de Fresnel

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

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

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

- Como la frecuencia es la misma, la relación entre k y n queda

$$k_{\mathscr{R}} = k_0 n_{\mathscr{R}} \quad \text{y} \quad k_{\mathscr{L}} = k_0 n_{\mathscr{L}}.$$

Explicación fenomenológica de Fresnel

- El campo resultante de la suma de ambas ondas es:

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

- Donde

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

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

Explicación fenomenológica de Fresnel

- Consideremos las igualdades trigonométricas siguientes:

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

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

Explicación fenomenológica de Fresnel

- Tomando $\theta = k_R z - \omega t$ y $\varphi = k_L z - \omega t$ tenemos:

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

y

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

Explicación fenomenológica de Fresnel

- Entonces, sumando las componentes x e y por separado y sacando factor común tenemos

$$\vec{\mathbf{E}} = E_0 \cos\left[(k_{\mathscr{R}} + k_{\mathscr{L}})z/2 - \omega t\right]\left[\hat{\mathbf{i}} \cos\left(k_{\mathscr{R}} - k_{\mathscr{L}}\right)z/2 + \hat{\mathbf{j}} \sin\left(k_{\mathscr{R}} - k_{\mathscr{L}}\right)z/2\right] \qquad (8.36)$$

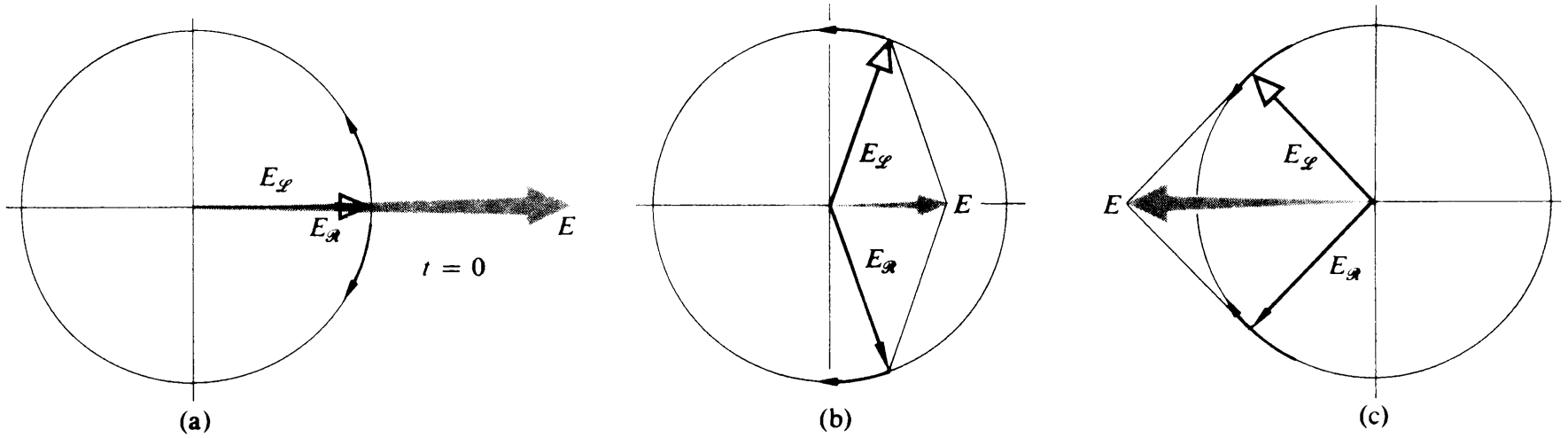
- Esto quiere decir que la oscilación se da en la dirección del vector:

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

Explicación fenomenológica de Fresnel

- Si tomamos $z = 0$ como el punto de entrada en el material, ahí tenemos que:

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

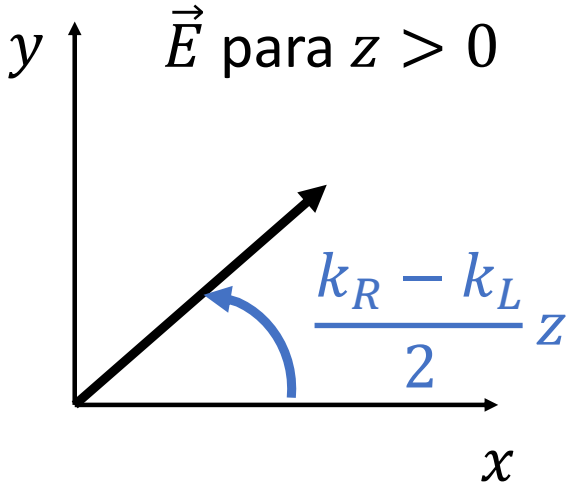


Explicación fenomenológica de Fresnel

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

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

- 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.



Explicación fenomenológica de Fresnel

- 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:

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

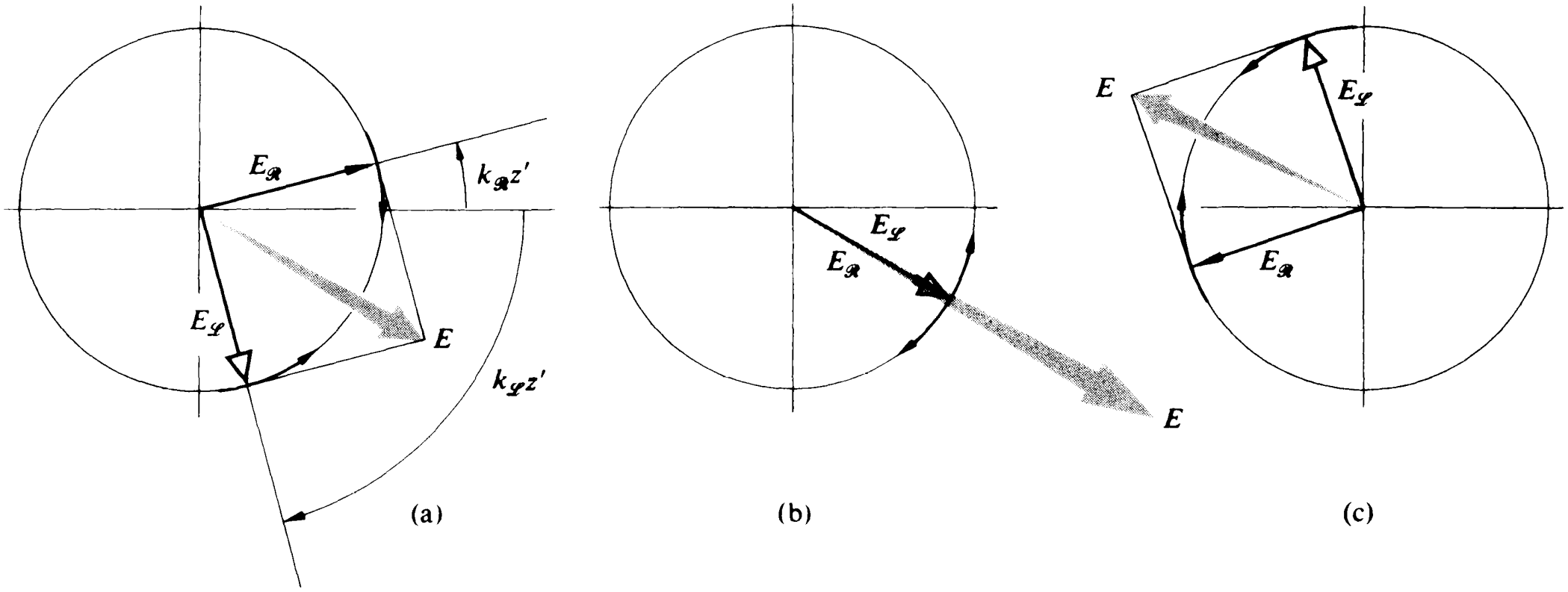
- Si el medio tiene un espesor d, el ángulo de rotación β respecto a la entrada es:

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

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:

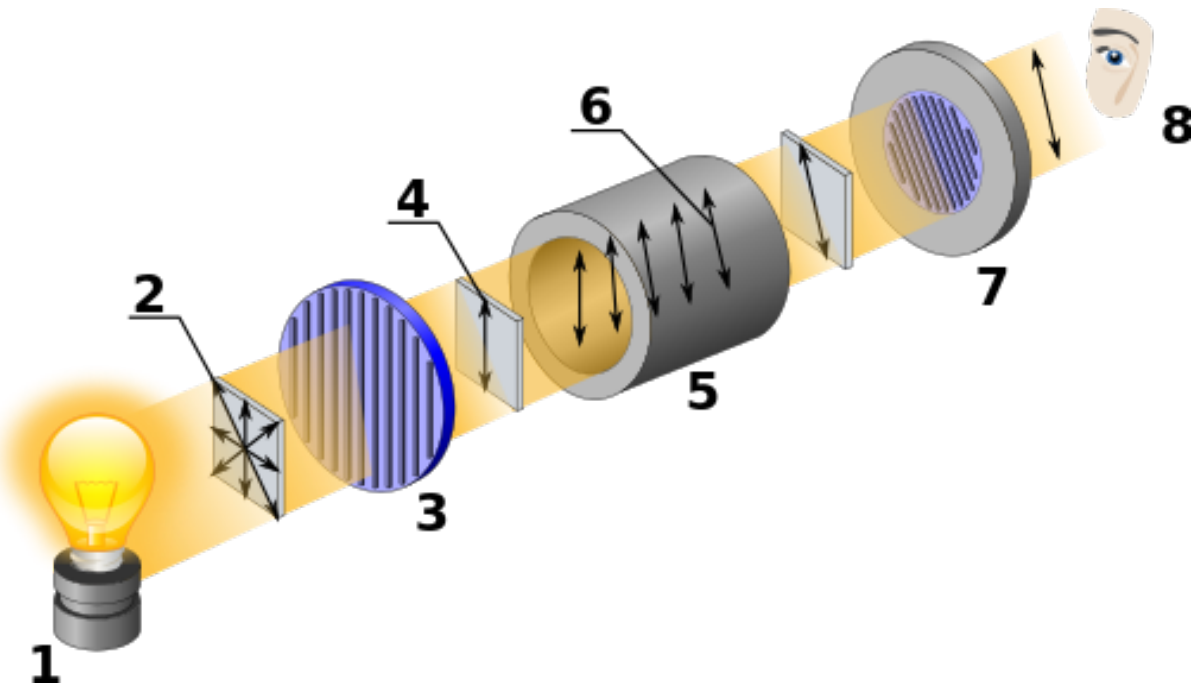
$$\frac{\beta}{d} = \pi \frac{n_L - n_R}{\lambda}$$

- En general se mide en $\frac{^\circ}{mm}$ para sólidos y en $\frac{^\circ}{cm}$ para líquidos

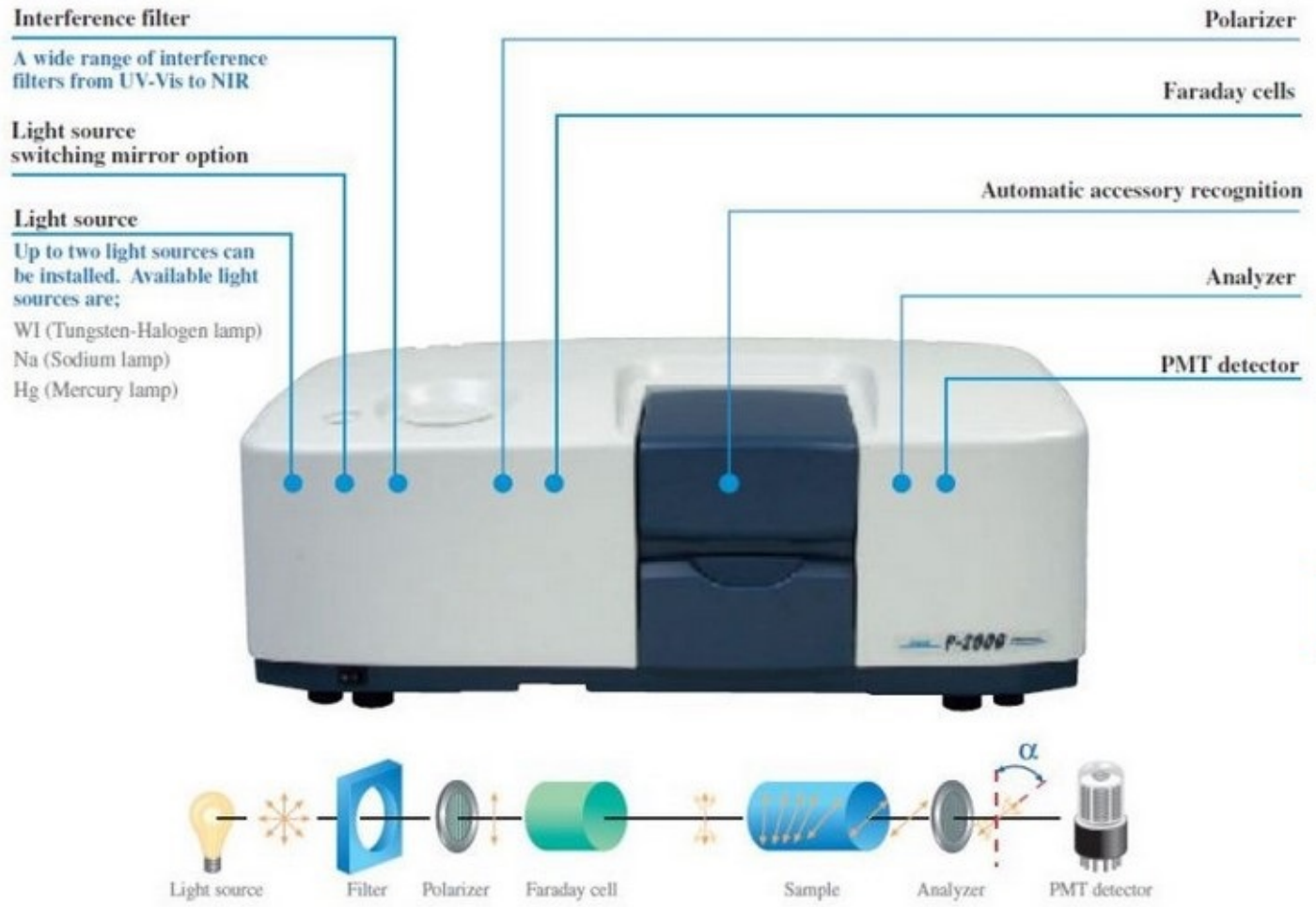
- Depende de λ. Usualmente referida al doblete del sodio a 25℃

El polarímetro: principio de funcionamiento

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



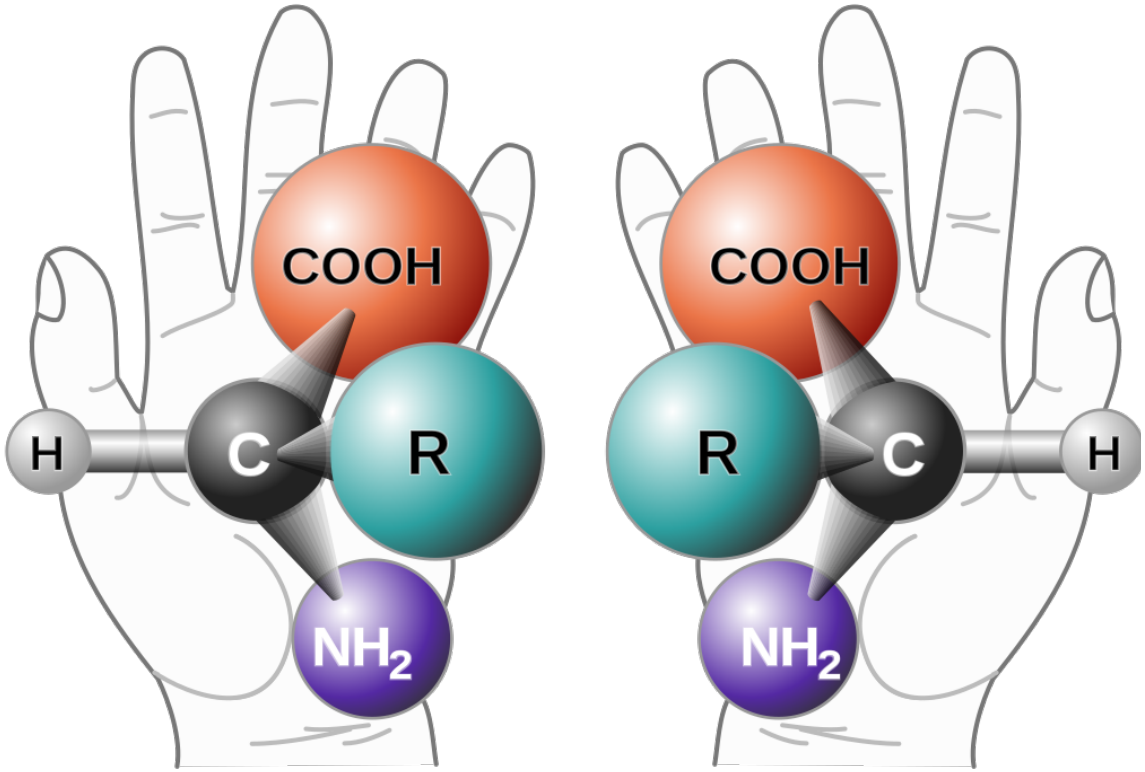
Polarímetro digital



Aplicaciones: estereoisómeros ópticos

- Estereosiómeros ópticos son moléculas de igual composición pero de estructuras especularmente opuestas

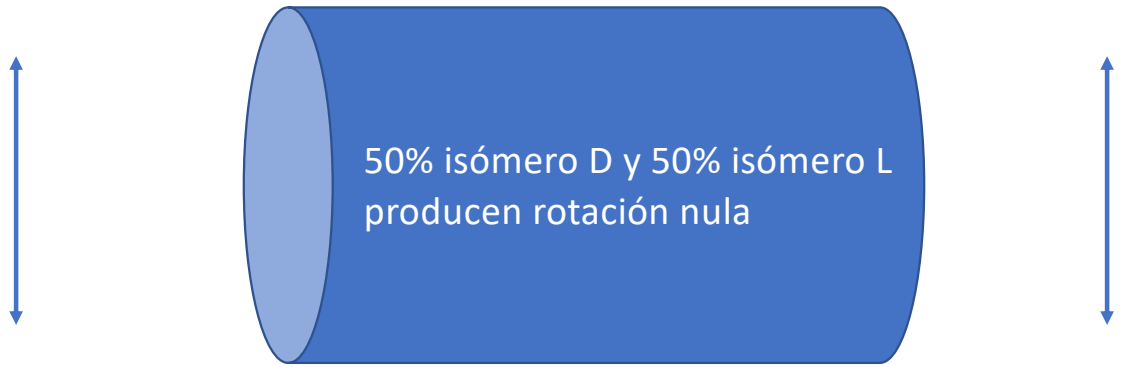
- En 1848, Louis Pasteur diferencia estereoisómeros mediante el sentido de rotación de la polarización



Estereoisómeros

Aplicaciones: estereoisómeros ópticos

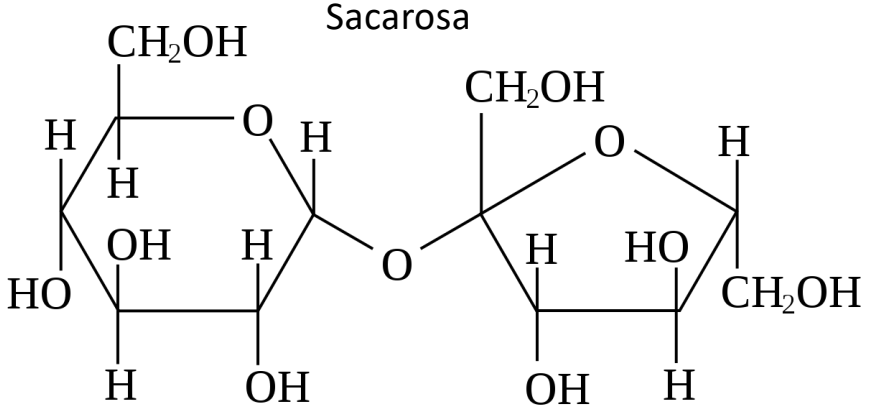
- El grado de rotación de la dirección de polarización depende de la concentración de un estereoisómero respecto al otro.



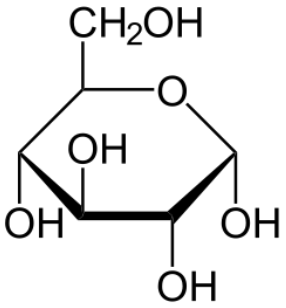
Sustancias biológicas ópticamente activas

- 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

Sacarosa



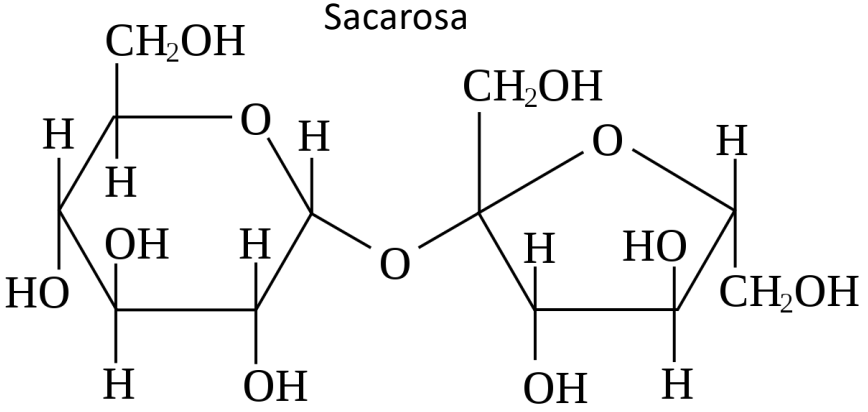
D-Glucosa



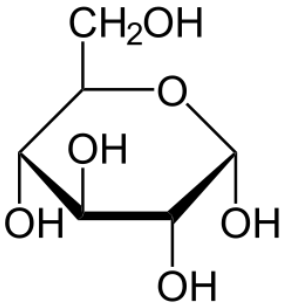
Sustancias biológicas ópticamente activas

- La mayoría de los aminoácidos son L-isómeros.
- Entre las excepciones importantes están los antibióticos.
- La Penicilina posee D-aminoácidos.

Sacarosa



D-Glucosa



AAAS
Research
Volume 2020, Article ID 5689246, 8 pages
https://doi.org/10.34133/2020/5689246

Research
A SCIENCE PARTNER JOURNAL

Review Article

Chemical Mechanisms of Prebiotic Chirality Amplification

Konstantin P. Bryliakov[1,2]

[1]*Novosibirsk State University, Pirogova 1, Novosibirsk 630090, Russia*
[2]*Boreskov Institute of Catalysis, Pr. Lavrentieva 5, Novosibirsk 630090, Russia*

Correspondence should be addressed to Konstantin P. Bryliakov; bryliako@catalysis.ru

Copyright © 2020 Konstantin P. Bryliakov. Exclusive Licensee Science and Technology Review Publishing House. Distributed under a Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).

This *review article* surveys the recent experimental findings that suggest alternative chemical models of directed chirality amplification at the early, prebiotic Earth. It is believed that the chirality amplification step followed the initial emergence of small enantiomeric imbalance and preceded (as a necessary condition) the occurrence of homochiral biopolymers, assembled from enantiomerically pure building blocks. This work focuses on the chemical nature of possible mechanisms of primordial chirality enhancement, without going into detail of the preceding and subsequent phases of origination of biological homochirality and life on Earth. These mechanisms are discussed through the prism of integrity of biological natural selection and chemical kinetic selection.