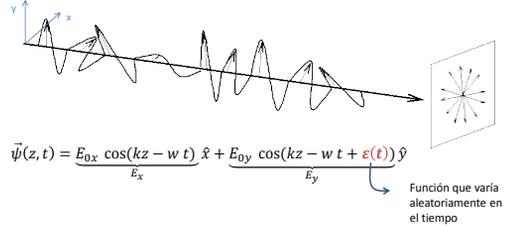


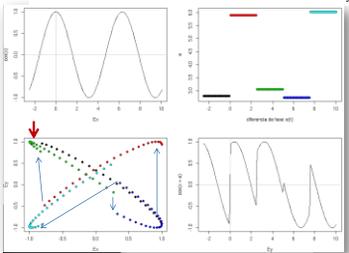
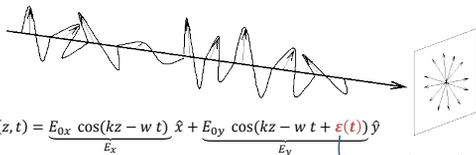
Luz natural

- 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 radia 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

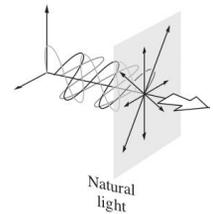


Polarización 2da parte

Luz natural
Polaroids
Dicroísmo
Birrefringencia



Luz natural



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

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

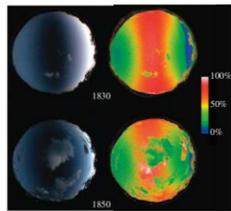
Pe...pero...Y entonces...?

PHOTONICS RESEARCH SOCIETY
PHD Thesis: Dr. Sc. D (2013), MSc, BSc, BEd (1999-2001, 2001-2002)

Research
Patterns and properties of polarized light in air and water
Thomas W. Cronin^{1,*} and Joelle Marshall²
¹Department of Biological Sciences, University of Maryland Eastern Shore, Pocomoke, MD 21201, USA
²Department of Physics, University of Connecticut, Storrs, CT 06269, USA

Abstract
Natural sources of light are at best weakly polarized, but polarization of light is common in natural scenes in the atmosphere, on the surface of the Earth, and underwater.

Introduction
Polarized light is common in natural scenes in the atmosphere, on the surface of the Earth, and underwater. The polarization of light is common in natural scenes in the atmosphere, on the surface of the Earth, and underwater. The polarization of light is common in natural scenes in the atmosphere, on the surface of the Earth, and underwater.



Y entonces...?

Localización

Behavioural and physiological mechanisms of polarized light sensitivity in birds
Michael Heisenfeld
Department of Biology, East Carolina University, Levitt 224D, Steubenville, OH 44240, USA

Behavioural and physiological mechanisms of polarized light sensitivity in birds
Michael Heisenfeld
Department of Biology, East Carolina University, Levitt 224D, Steubenville, OH 44240, USA

Communication (?)

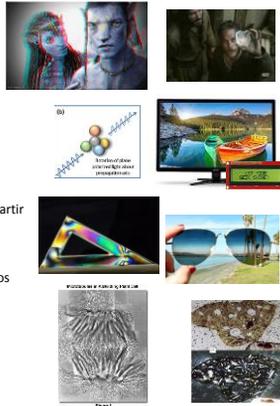
Sepia

pygmy octopus: Patrón de luz polarizada por reflexión

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.



Polarizando (i.e. favoreciendo direcciones)

Absorbiendo componentes

Dicroísmo

Direcciones de emisión prohibidas

Reflexión

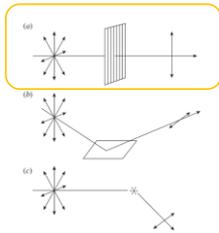
Scattering

Actividad óptica

Introduciendo desfases (Bi-refringencia)

Laminas retardadoras

Dicroísmo



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

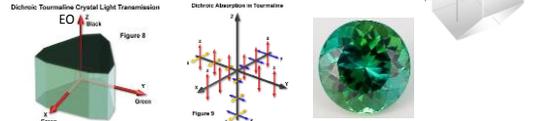
Dicroísmo 1

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

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

Critales dicroicos

- Estructura cristalina anisotrópica
- Existencia de un **eje óptico (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)

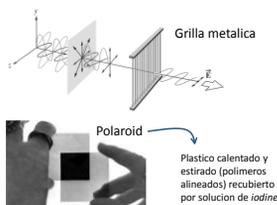


Dicroísmo 2

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

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

- 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



Hablemos de energía transportada

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

Energía transmitida por una onda, por unidad de área

$$I = \epsilon_0 c \langle E(z, t)^2 \rangle_t$$

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

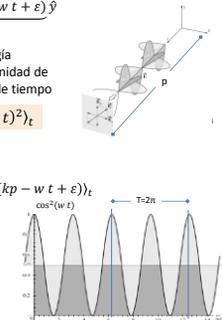
$$I = \epsilon_0 c \langle E(z, t)^2 \rangle_t$$

$$I = \epsilon_0 c \langle E_x(z = p, t)^2 + E_y(z = p, t)^2 \rangle_t$$

$$= \epsilon_0 c E_{0x}^2 \langle \cos^2(kp - wt) \rangle_t + \epsilon_0 c E_{0y}^2 \langle \cos^2(kp - wt + \epsilon) \rangle_t$$

$$\frac{1}{T} \int_0^{T+\tau} \cos^2(kp - wt) dt = \frac{1}{2}$$

$$I = \epsilon_0 c \frac{E_{0x}^2 + E_{0y}^2}{2}$$

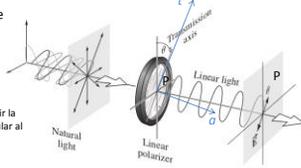


Luz natural sobre polarizador

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 dirección perpendicular al eje de transmisión)



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

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



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

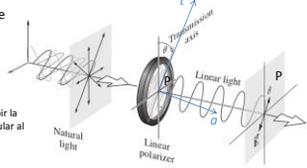
$$I = \epsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_T = \epsilon_0 c \frac{E_{0t}^2}{2} \xrightarrow{E_{0t} = E_{0a}} \text{Si fuese natural natural} I = \epsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_t = \frac{I_{in}}{2}$$

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 dirección perpendicular al eje de transmisión)



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

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

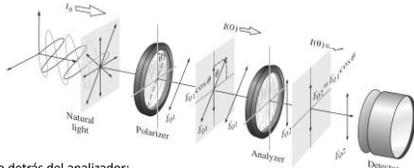


$$\vec{E}(z,t)^{out} = \frac{E_{0t}}{E_t} \cos(kz - wt + \epsilon_t) \hat{t}$$

$$I = \epsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_T = \epsilon_0 c \frac{E_{0t}^2}{2} \xrightarrow{E_{0t} = E_{0a}} \text{Si fuese natural natural} I = \epsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_t = \frac{I_{in}}{2}$$

Cuanta energía llega al detector...

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



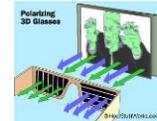
Campo detrás del analizador:

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

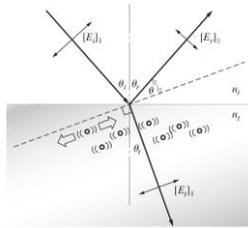
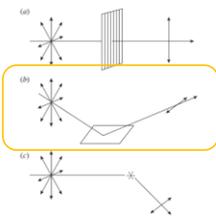
Al detector llega una irradiancia

$$I = \epsilon_0 c \langle E(t)^2 \rangle_t = \frac{\epsilon_0 c E_{01}^2 \cos^2 \theta}{2} \xrightarrow{\text{Ley de Malus}} I(\theta) = I(0) \cos^2 \theta$$

Cine 3D



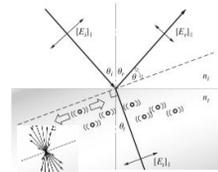
Polarización por reflexión



Onda incide sobre dielectrico (material no conductor)

Polarización por reflexión: ángulo de Brewster

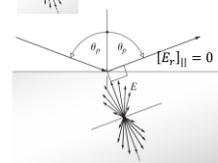
- Onda polarizada linealmente en dirección paralela al plano de incidencia incide sobre un dieléctrico
- E_{\parallel} y E_{\perp} (ley de Snell y reflexión) generados por radiación emitida por las cargas aceleradas dentro del material por la onda incidente.
- Como sabemos, ésta emisión no es isotrópica.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



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

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

$$\tan \theta_p = \frac{n_t}{n_i} \rightarrow \text{Define el angulo para el cual } [E_r]_{\parallel} = 0$$



Polarización por reflexión: ángulo de Brewster

The reflection coefficients are different for waves parallel and perpendicular to the plane of incidence.

Brewster Angle

When light is incident at the Brewster angle, the reflected light is linearly polarized because the reflection coefficient for the II component is zero.

Reflected intensity for rays parallel and perpendicular to the plane of incidence

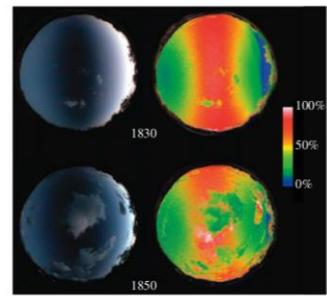
Reflected light is horizontally polarized.

Polarización por scattering

Polarización por scattering

- Cuando observo una región a 90º 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

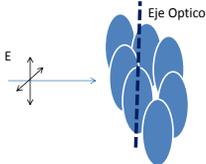
Mapa del cielo polarizado



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 y que en 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:

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

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

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

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

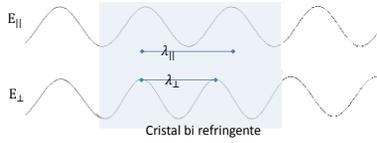
v es la misma fuera y dentro del material (pensemos en el punto ●)

$v_{||} = \lambda_{||} \nu$
 $v_{\perp} = \lambda_{\perp} \nu$

$\lambda_{||} = \frac{c}{n_{||} \nu}$
 $\lambda_{\perp} = \frac{c}{n_{\perp} \nu}$

Laminas retardadoras

En definitiva



Nota matematica:

$$\cos(kz - wt + \varepsilon)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

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!

Calculemos el desfase que agrega la lamina

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

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

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

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

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

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

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

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

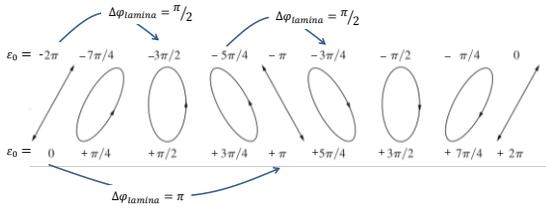
$$\Delta\varphi_{lamina} = (n_{\parallel} - n_{\perp}) \frac{2\pi d}{\lambda_0}$$

Cosas que podemos hacer con laminas

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

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

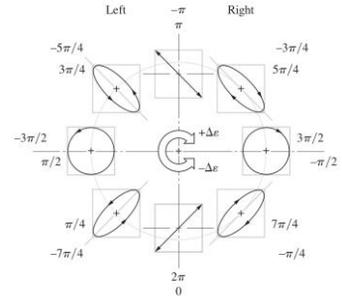
A la salida: $\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varphi_{lamina}$



Desfasando con laminas retardadoras

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

$$\varepsilon_{salida} = \varepsilon_0 + \Delta\varphi_{lamina}$$



Lamina de media onda

Diseñada para introducir un desfase de π radianes entre ambas componentes

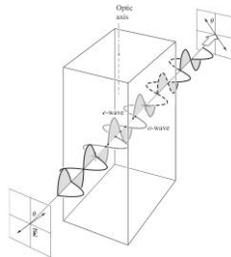
$$\Delta\varphi_{\lambda/2} \equiv (n_{\parallel} - n_{\perp}) \frac{2\pi d}{\lambda_0} = \pi$$

- E_j: una polarización lineal gira un ángulo 2θ

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

Dif de fase antes de la lamina

Dif de fase despues de la lamina



Lamina de cuarto de onda

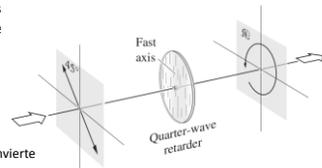
Diseñada para introducir un desfase de $\pi/2$ radianes entre ambas componentes

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

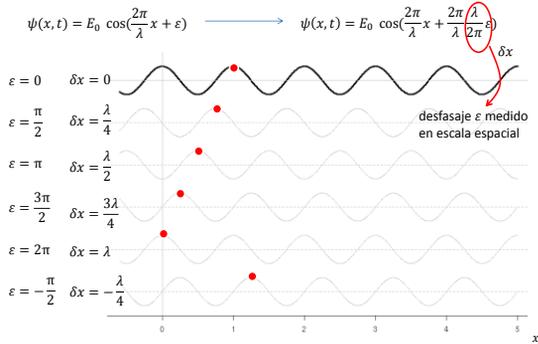
- E_j: una polarización lineal la convierte en circular
- $\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varphi_{\lambda/2} = 0 + \frac{\pi}{2}$

Dif de fase antes de la lamina

Dif de fase despues de la lamina

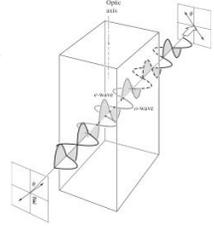


La palabra clave...desfasaje

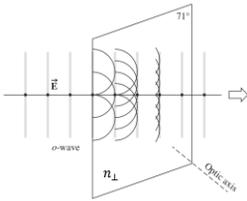


Bi-refringencia de coté

- 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...

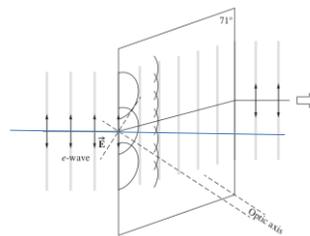


Bi-refringencia de coté



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

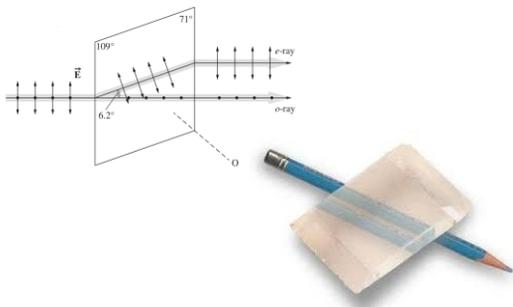
Bi-refringencia de coté



- 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 y perpendicular al EO
- Supongamos $v_{\perp} > v_{\parallel}$
- Las onditas emitidas viajarán más rápido en la dirección normal el 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**

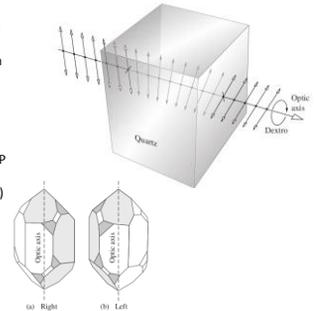
Bi-refringencia de coté



Actividad Óptica

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

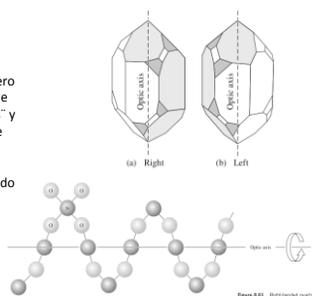
- (Arago 1811) La dirección de vibración de una onda linealmente polarizada experimentaba un proceso de rotación continuo al propagarse paralelo al eje óptico de un cristal de cuarzo
- (Herschel 1822) Había dos tipos de cristales de cuarzo. Uno rotaba la luz LP hacia la derecha (poder **dextrógiro**)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



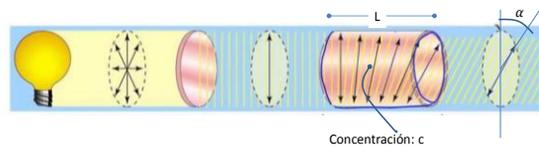
Actividad Optica

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 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.



Cuantificando el poder rotatorio



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

temperatura \uparrow \downarrow α
 \uparrow \downarrow α
 dm \uparrow \downarrow g/ml

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

La naturaleza elige?

La síntesis en laboratorio de compuestos orgánicos producen igual número de isómeros *d* y *l*.

Todas las proteínas sintetizadas por seres vivos son polímeros compuestos por aminoácidos. Hay 20 tipos de AA y todos (salvo la glicina) son levógiros