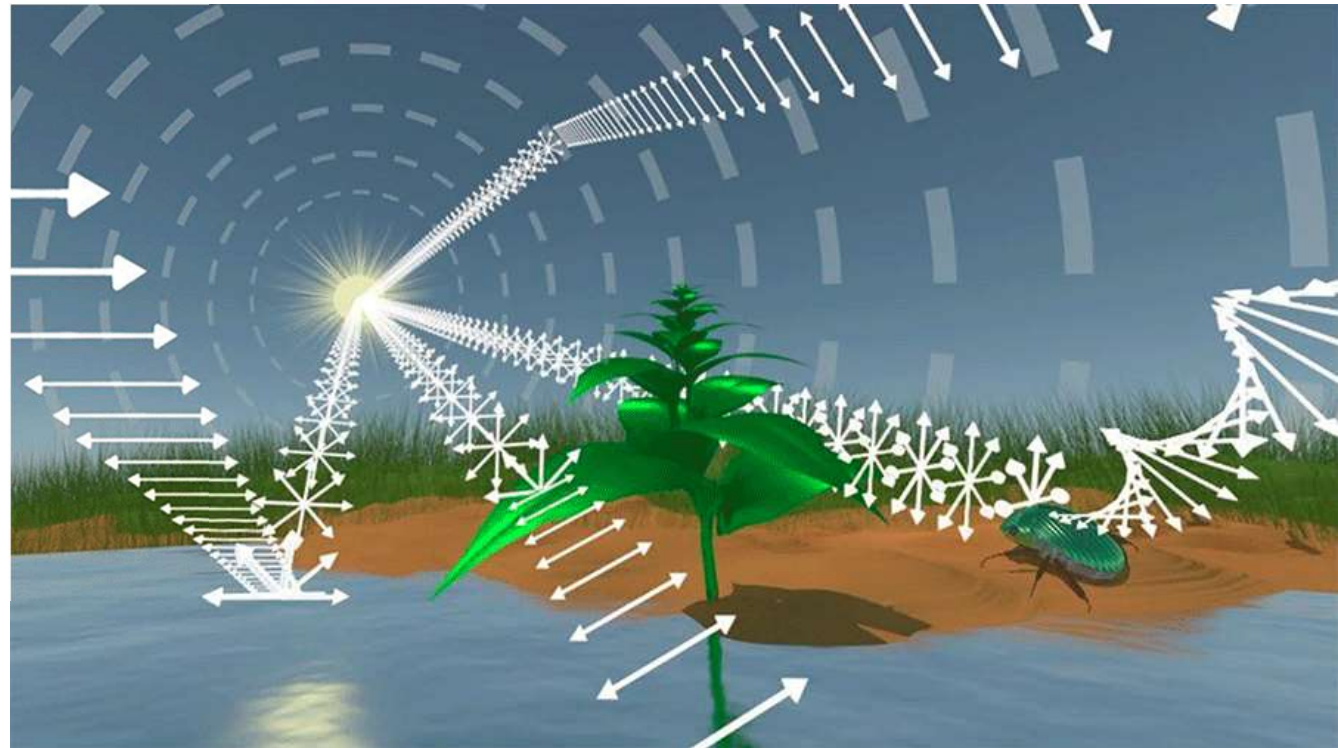
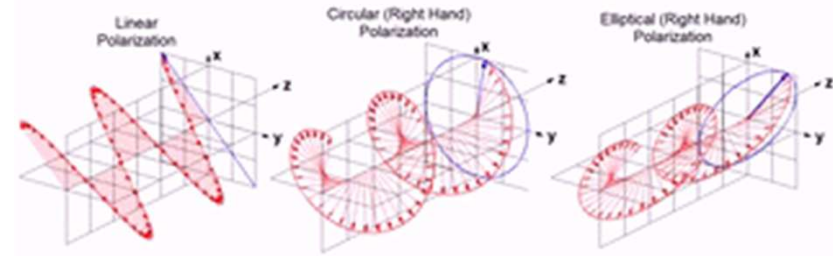


POLARIZACION de la luz y ondas EM

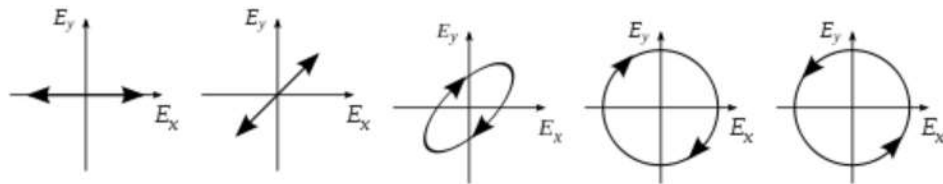
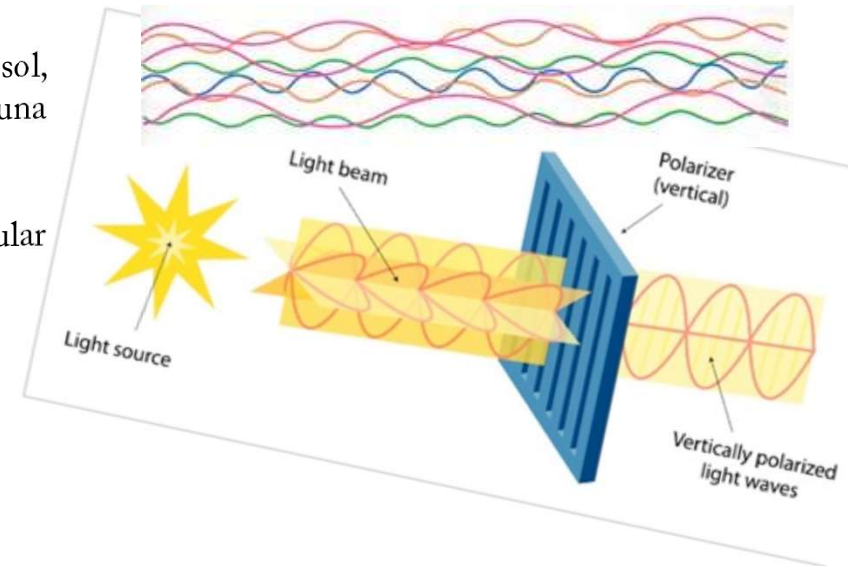
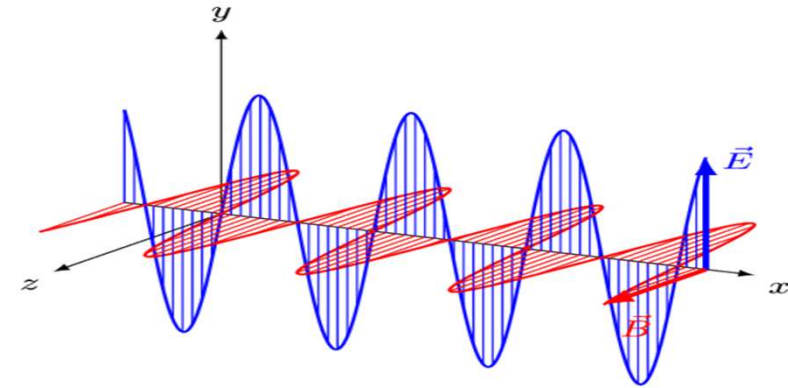
1. Que es la polarización de la luz
2. Tipos de polarización
 - a) Lineal o plana
 - b) Circular
 - c) Elíptica
3. Actividad óptica: Interacción de la luz con la materia
 - a) Sustancias ópticamente activas
 - b) Generación de luz polarizada
 - i. Reflexión (ángulo de Brewster)
 - ii. Dicroísmo
 - iii. Birrefringencia
 - iv. Dispersión
4. Medición de la polarización
 - a) Ley de Malus
5. Técnicas espectroscópicas
 - a) Dicroísmo circular
 - i. Fundamento
 - ii. Aplicaciones



POLARIZACION de la luz y ondas EM

1. ¿Que es la polarización de la luz?

- i. La polarización es una propiedad que se aplica a las ondas transversales que especifica la orientación geométrica de las oscilaciones. En una onda EM, que es una onda transversal, la dirección de la oscilación es perpendicular a la dirección del movimiento (propagación) de la onda.
- ii. Una onda electromagnética como la luz consiste en un campo eléctrico oscilante acoplado a un campo magnético que siempre son perpendiculares. Por convención, la dirección de "polarización" de las ondas electromagnéticas se refiere a la del campo eléctrico.
- iii. La luz o cualquier otra radiación electromagnética de fuentes como el sol, lámparas incandescentes, etc., consiste en "porciones" de onda con una mezcla de polarizaciones → Esto se llama luz no polarizada.
- iv. La luz o cualquier onda EM puede ser polarizada de forma plana, circular o elíptica (hacia la derecha o la izquierda).



Polarización: Plana Plana Elíptica Circular (Izq) Circular (Der)

Recordar concepto importante!!!

INTERFERENCIA DE ONDAS: igual sentido, λ , f y A

$$Y_1(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$Y_2(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t - \Phi)$$

Principio de superposición

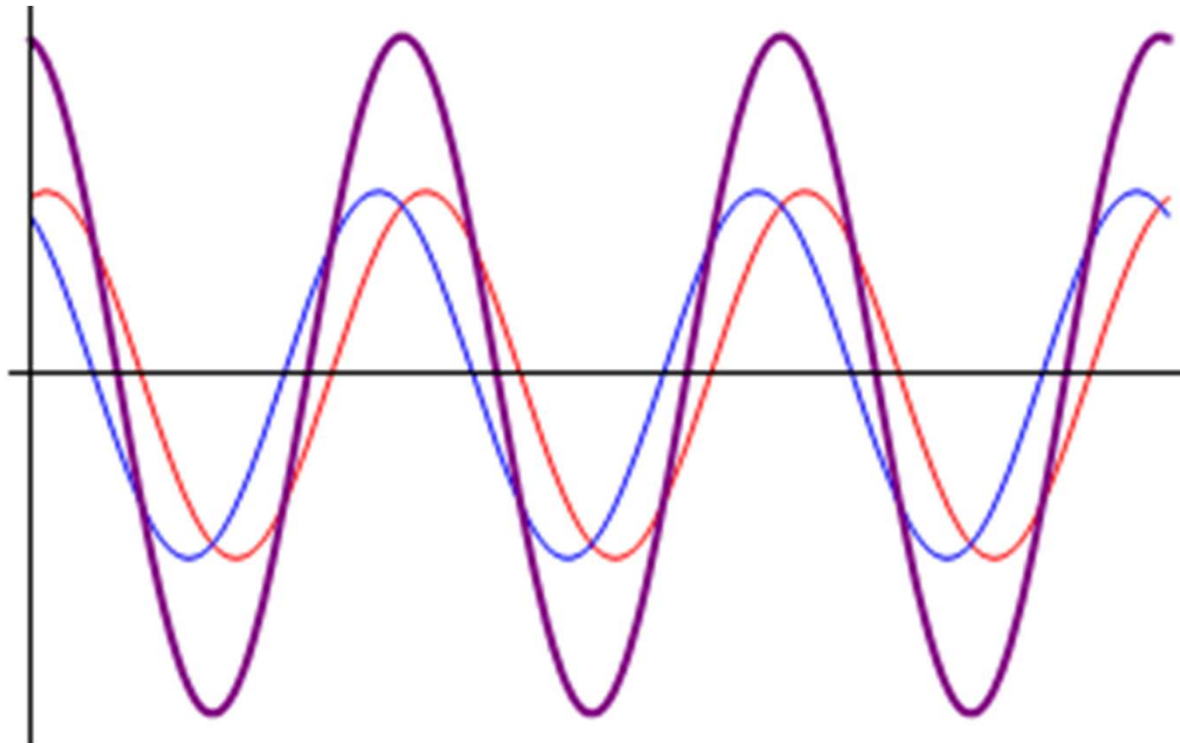
$$Y_1 + Y_2 = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) + A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t - \Phi)$$

$$\text{sen } a + \text{sen } b = 2 \text{sen} \left[\frac{1}{2}(a + b) \right] \cos \left[\frac{1}{2}(a - b) \right]$$

$$Y_1 + Y_2 = 2A \cdot \cos \left(\frac{\Phi}{2} \right) \cdot \text{sen} \left(k \cdot x - \omega \cdot t - \frac{\Phi}{2} \right)$$

INTERFERENCIA DE ONDAS: igual sentido, λ y f (v)

$$Y_1 + Y_2 = 2A \cdot \cos\left(\frac{\Phi}{2}\right) \cdot \text{sen}\left(k \cdot x - \omega \cdot t - \frac{\Phi}{2}\right)$$

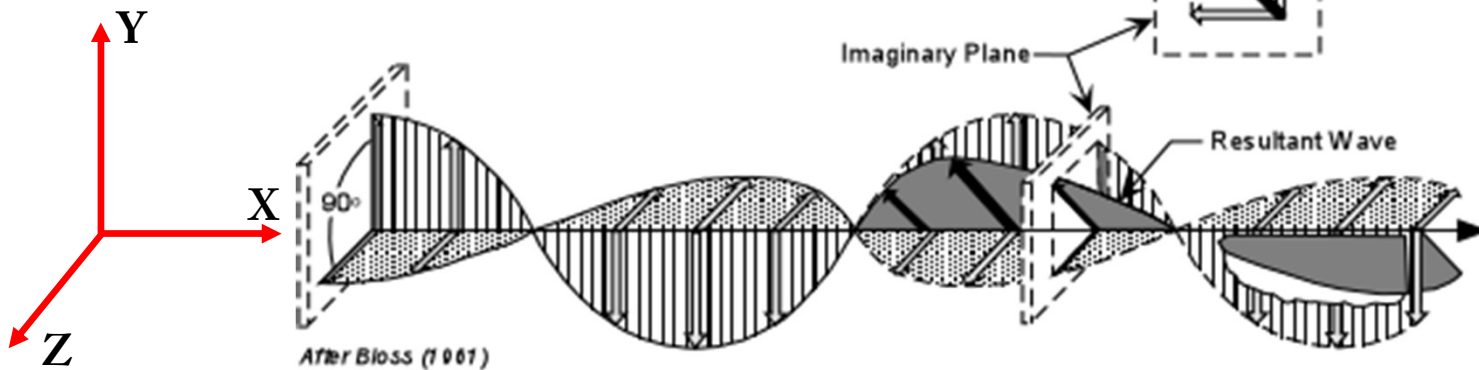
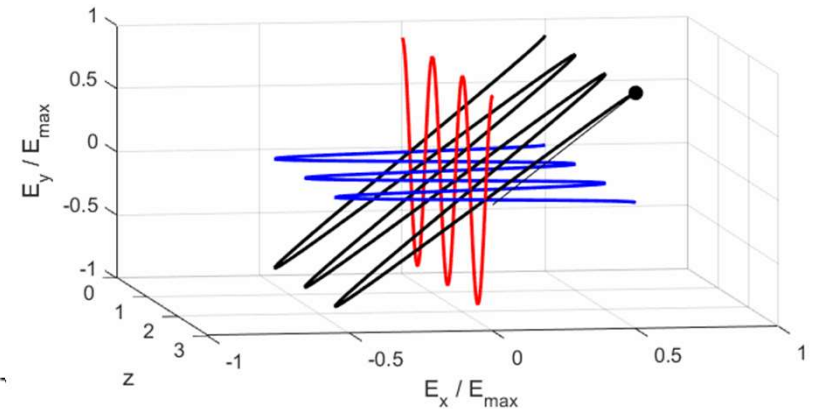


SUPERPOSICION DE ONDAS: igual sentido, λ y f pero dirección de polarización **perpendiculares!!!**

$$\vec{E}_Y(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) \hat{j}$$

$$\vec{E}_Z(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t + \varphi) \hat{k}$$

$$\varphi = 0$$



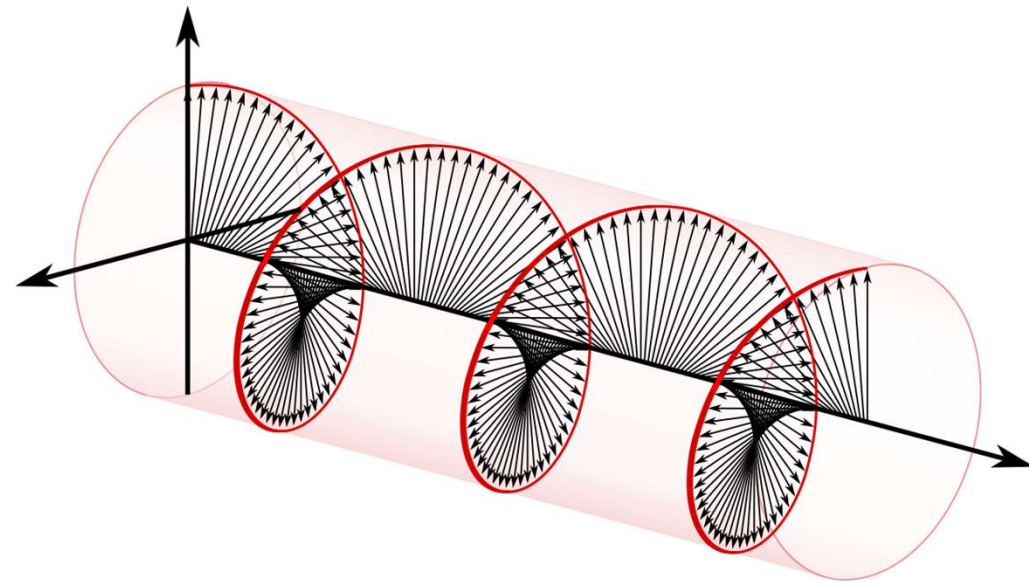
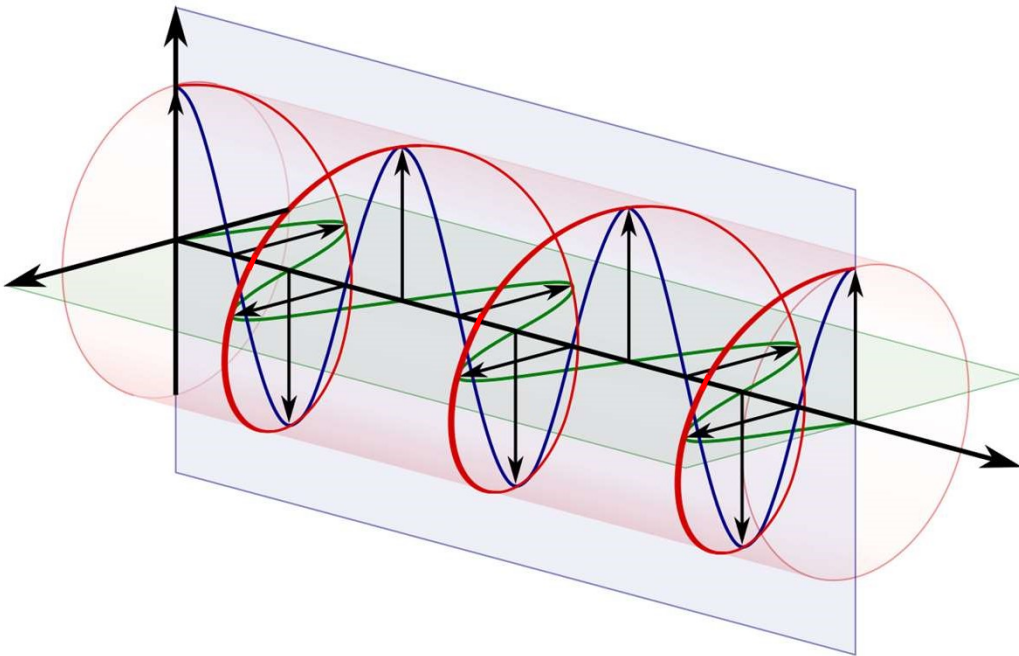
INTERFERENCIA DE ONDAS: igual sentido, λ , f y A pero dirección de polarización perpendiculares y **diferente fase**

$$\vec{E}_Y(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t + \varphi) \hat{j}$$

$$\vec{E}_Z(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) \hat{k}$$

$$\varphi = -\frac{\pi}{2} \rightarrow$$

Onda polarizada circularmente hacia la derecha

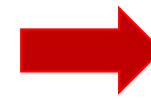


INTERFERENCIA DE ONDAS: igual sentido, λ , f y A pero dirección de polarización perpendiculares y **diferente fase**

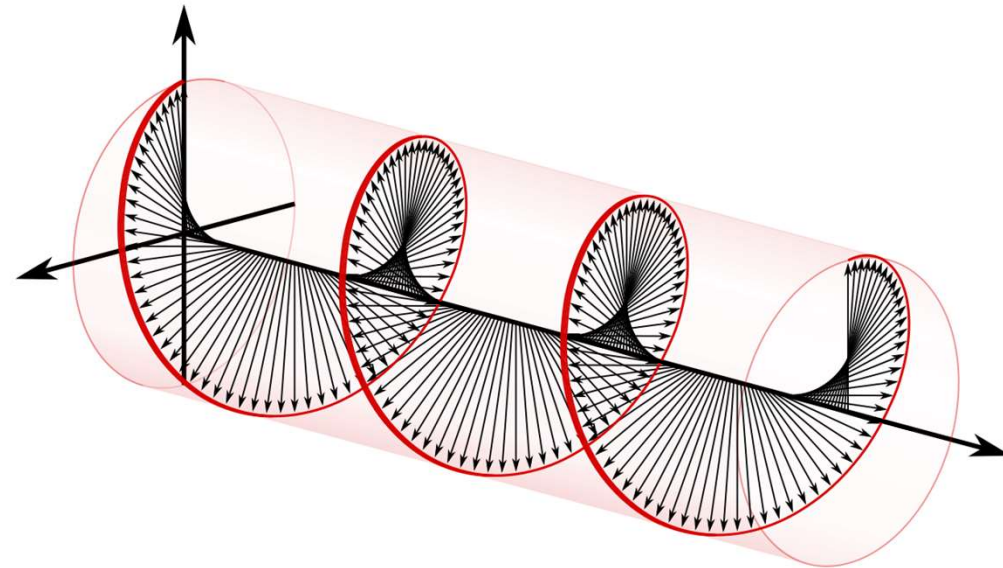
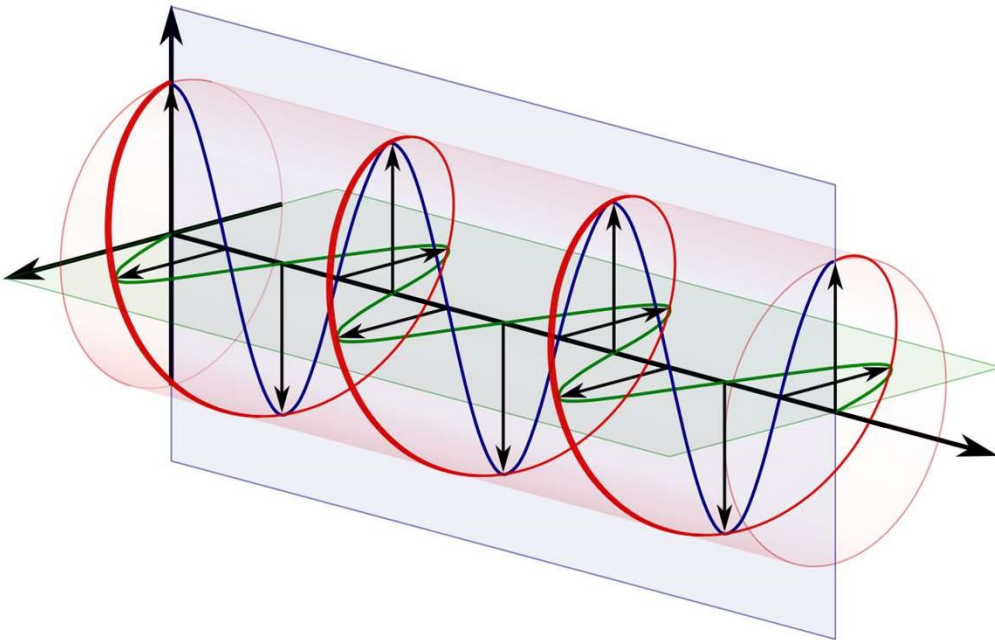
$$\vec{E}_Y(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t + \varphi) \hat{j}$$

$$\vec{E}_Z(x, t) = A \cdot \text{sen}(k \cdot x - \omega \cdot t) \hat{k}$$

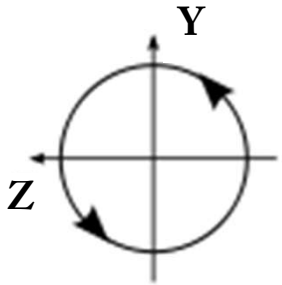
$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$



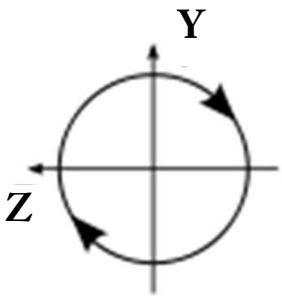
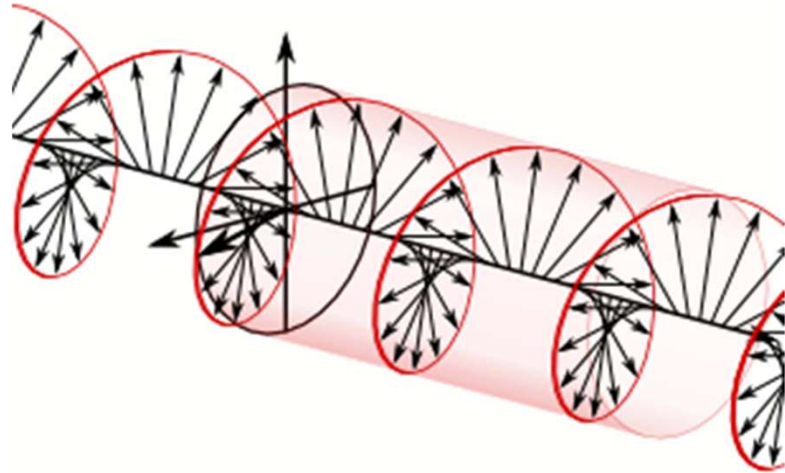
Onda
polarizada
circularmente
hacia la
izquierda



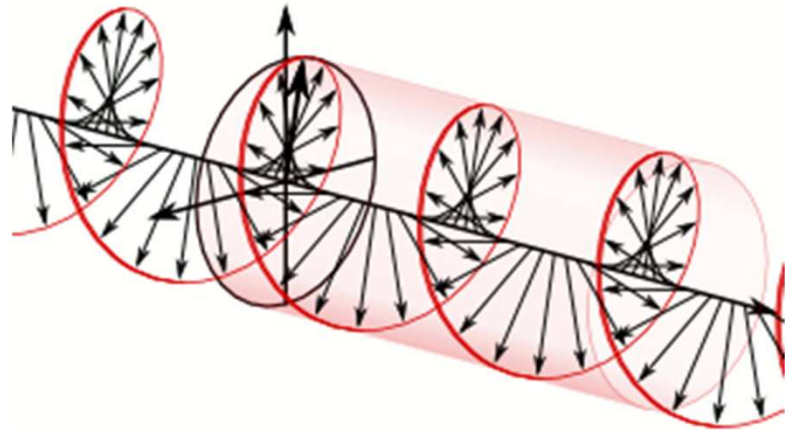
INTERFERENCIA DE ONDAS: igual sentido, λ , f y A pero dirección de polarización perpendiculares y diferente fase



Luz polarizada
circularmente
hacia la
derecha

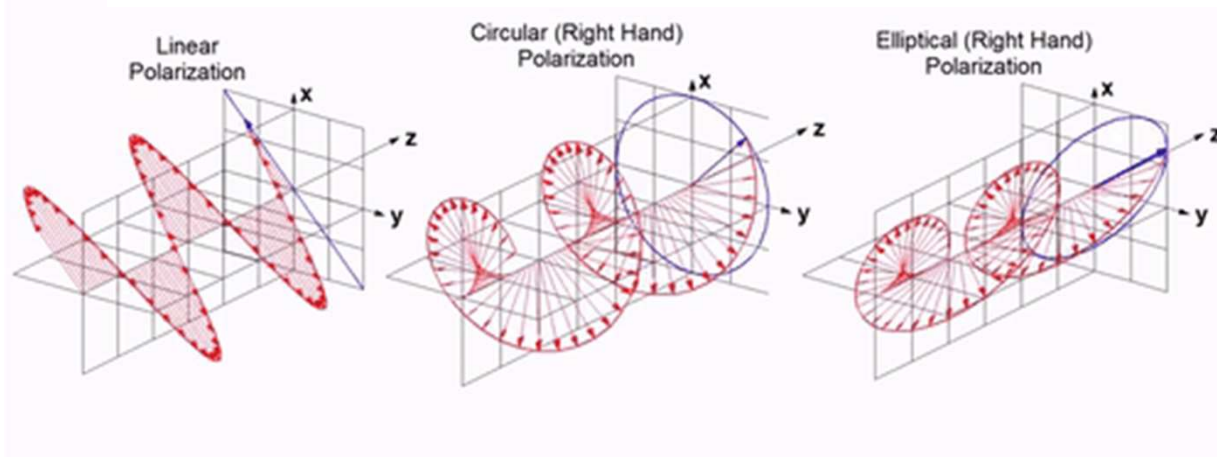
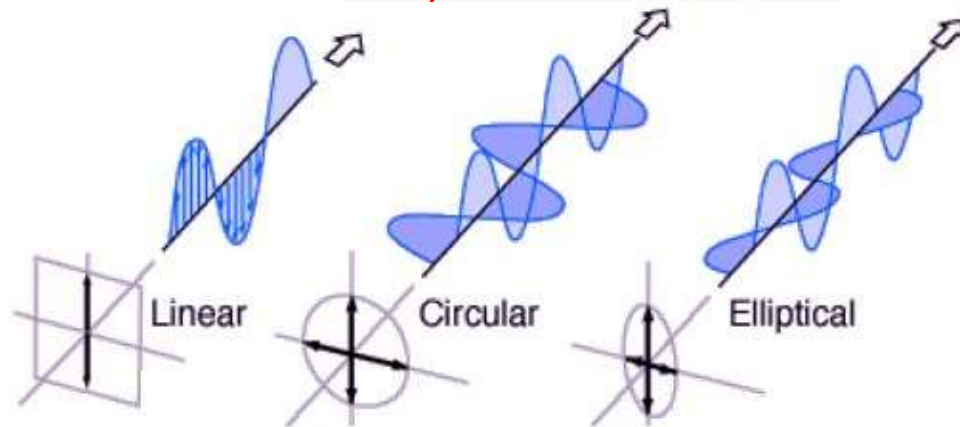


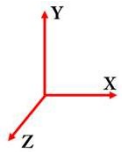
Luz polarizada
circularmente
hacia la
izquierda



INTERFERENCIA DE ONDAS: igual sentido, λ , f dirección de polarización perpendiculares y diferente fase

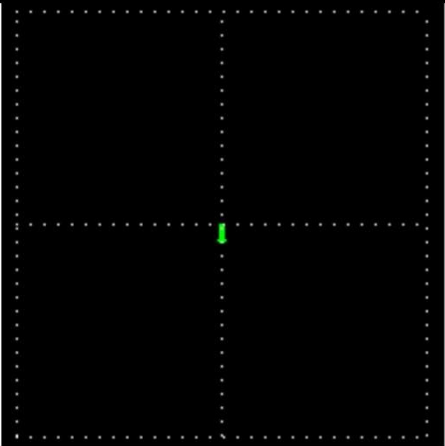
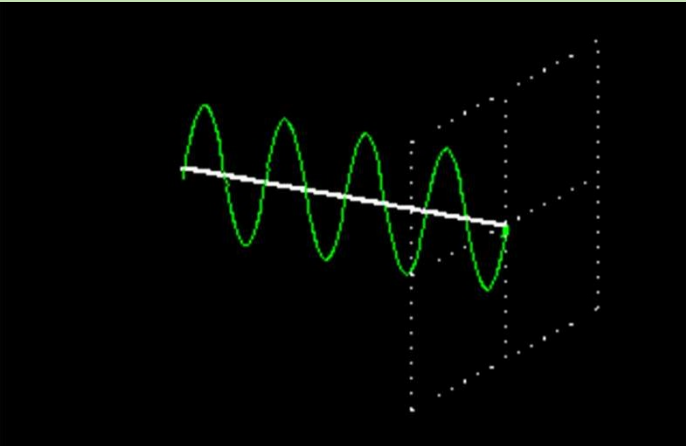
...y diferente A



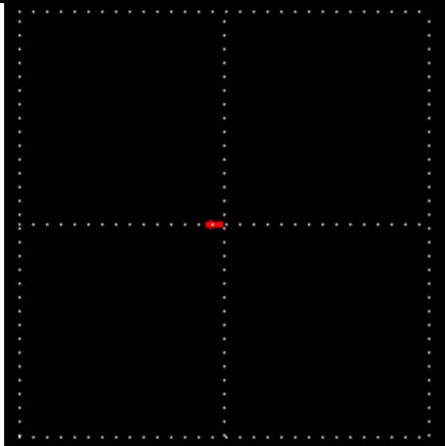
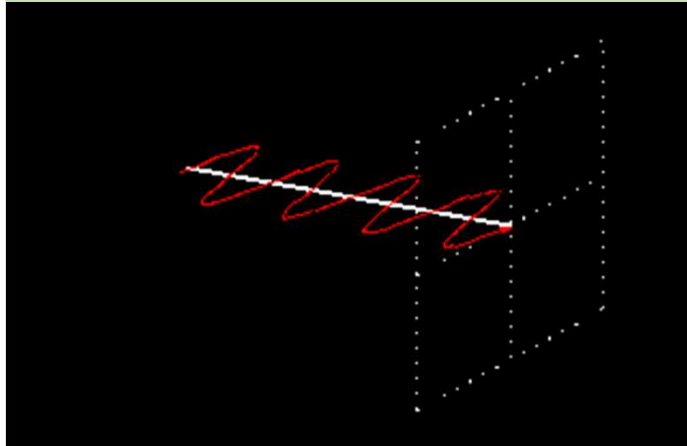


INTERFERENCIA DE ONDAS: igual sentido, λ , f, A y fase

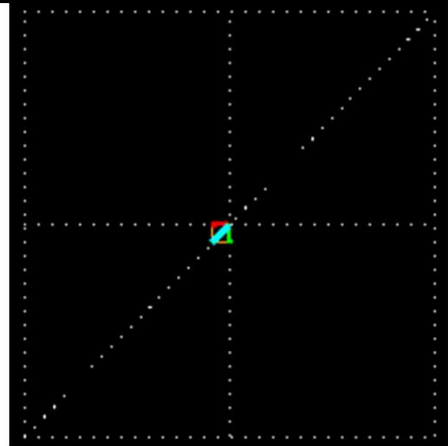
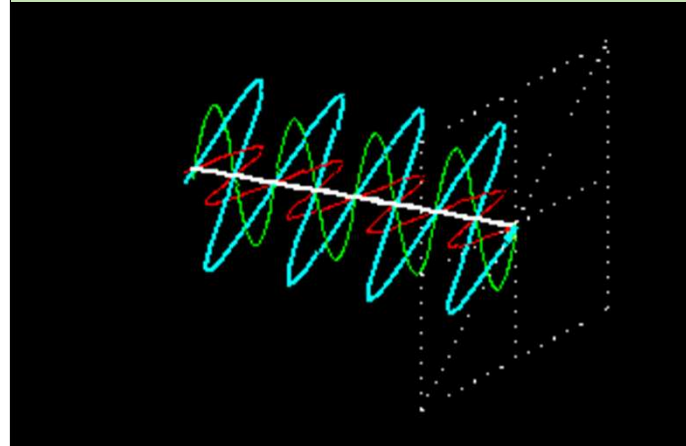
Onda plana:
→ Dirección polarización: eje Y
→ Dirección de propagación: eje X

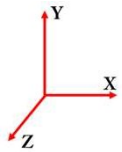


Onda plana:
→ Dirección polarización: eje Z
→ Dirección de propagación: eje X



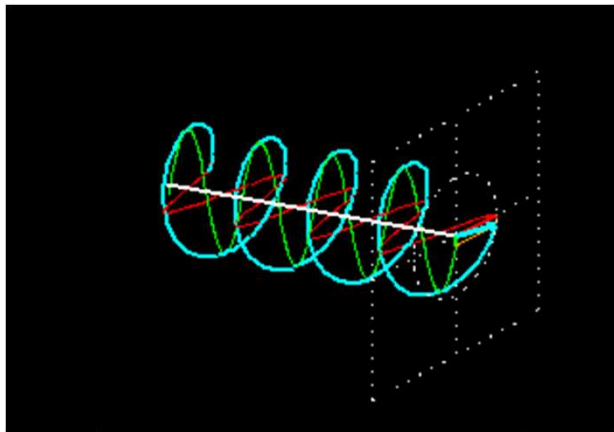
Onda plana:
→ Dirección polarización: a 45° del eje Y (o Z)
→ Dirección de propagación: eje X



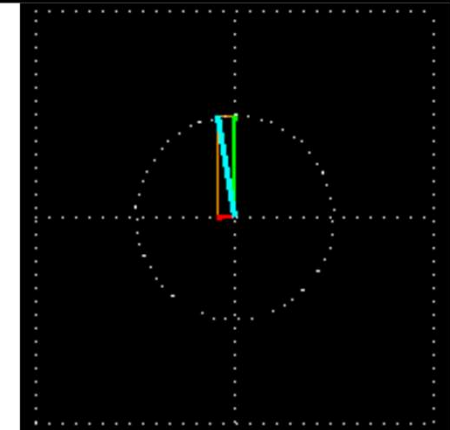
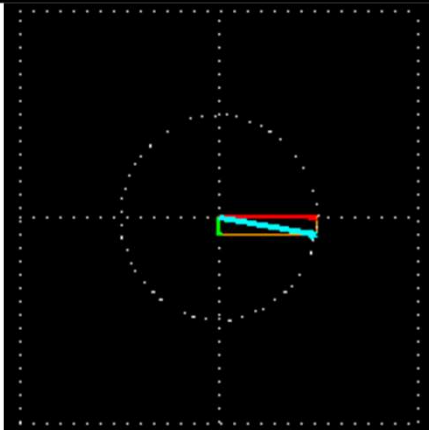
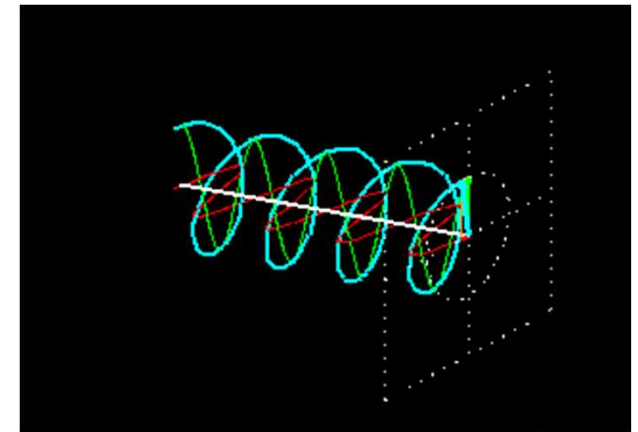


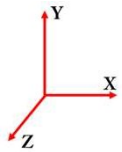
INTERFERENCIA DE ONDAS

- Cuando dos ondas polarizadas en planos perpendiculares se encuentran fuera de fase, entonces la onda resultante de la superposición ya no será polarizada en el plano.
- La animación muestra la superposición de dos ondas que tienen la misma amplitud y longitud de onda y están polarizadas en dos planos perpendiculares, con una diferencia de fase de 90 grados entre ellas, o sea, que cuando una onda está en su punto máximo, la otra está cruzando la línea cero.



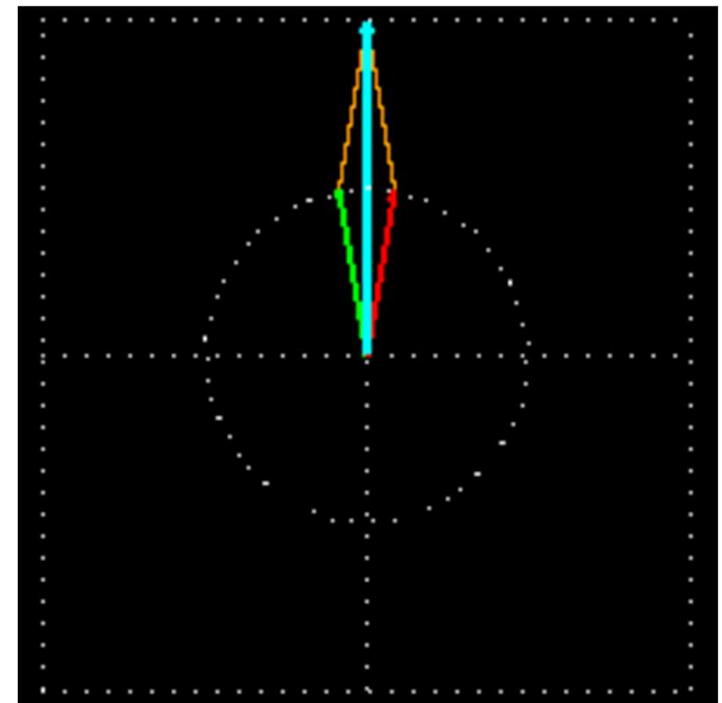
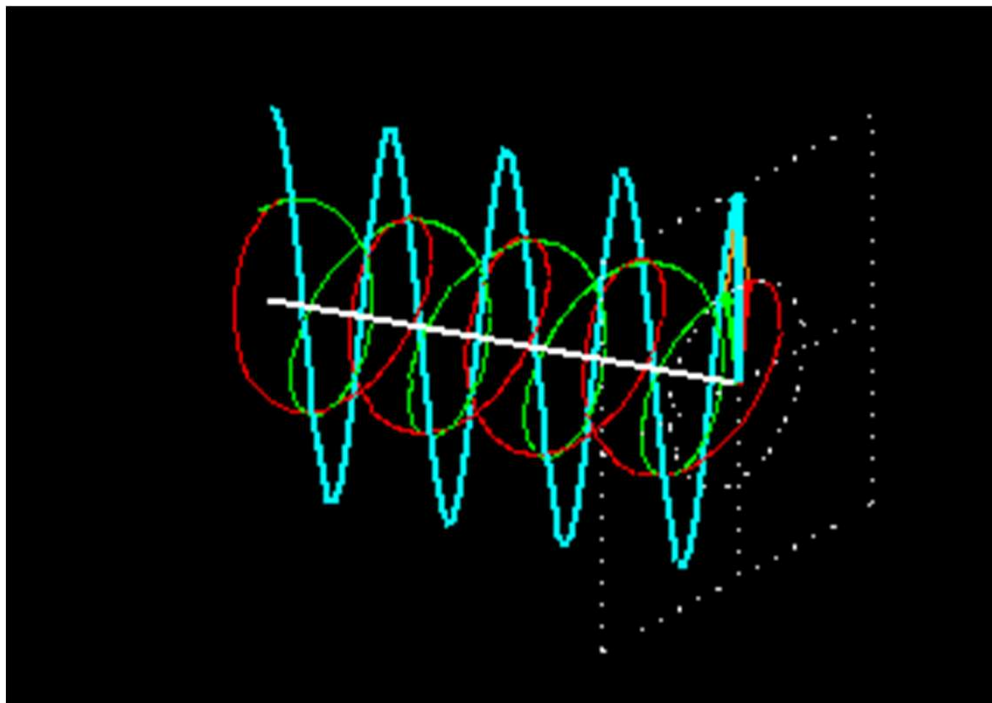
- El vector de campo eléctrico gira en círculo mientras su longitud permanece constante.
- Estas son conocidas como ondas polarizadas circularmente.
- En la imagen 3D se puede visualizar como una onda polarizada circularmente describe una espiral en lugar de una curva sinusoidal.





INTERFERENCIA DE ONDAS

- Así como dos ondas polarizadas en plano pueden encontrarse, dos ondas polarizadas circularmente también. En ese caso, los campos se suman de la misma forma.
- La superposición de dos haces de luz polarizados circularmente puede tener varios resultados, por ejemplo si se suman una onda polarizada circularmente a la izquierda (rojo) y una onda polarizada circularmente a la derecha (verde), con amplitudes y longitudes de onda iguales, se obtiene una onda con polarización plana (celeste).

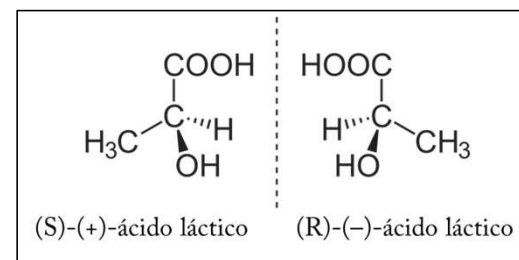


ACTIVIDAD OPTICA

→ Sustancia ópticamente activa: son la que pueden rotar el plano de luz polarizada linealmente que las atraviesa.

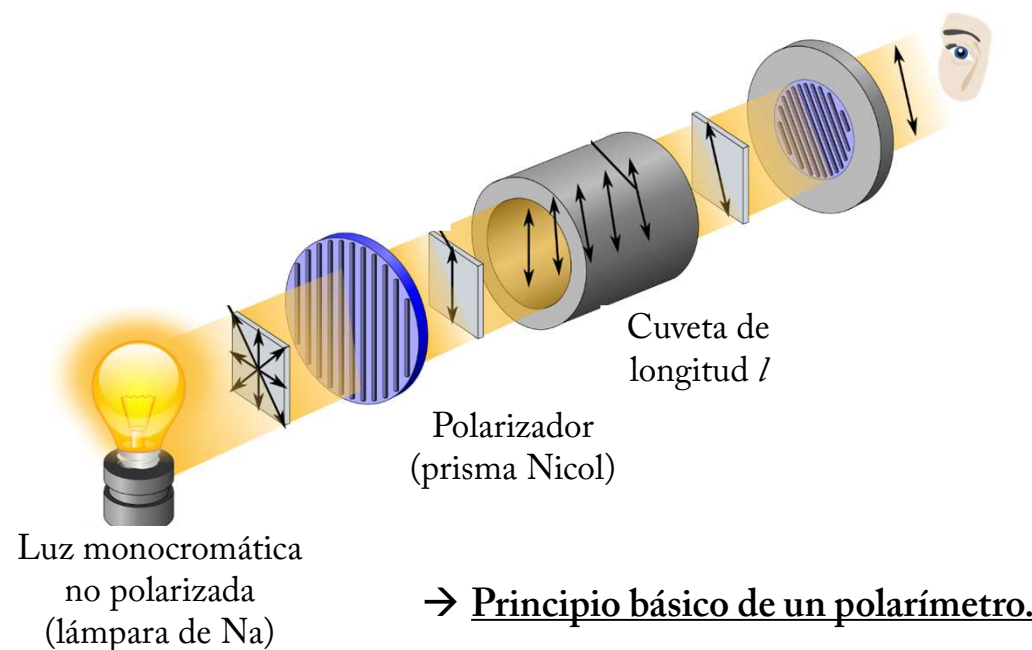
→ Pueden ser dextrógiras o levógiras

→ Para que una sustancia sea ópticamente activa debe poseer un elemento de asimetría:



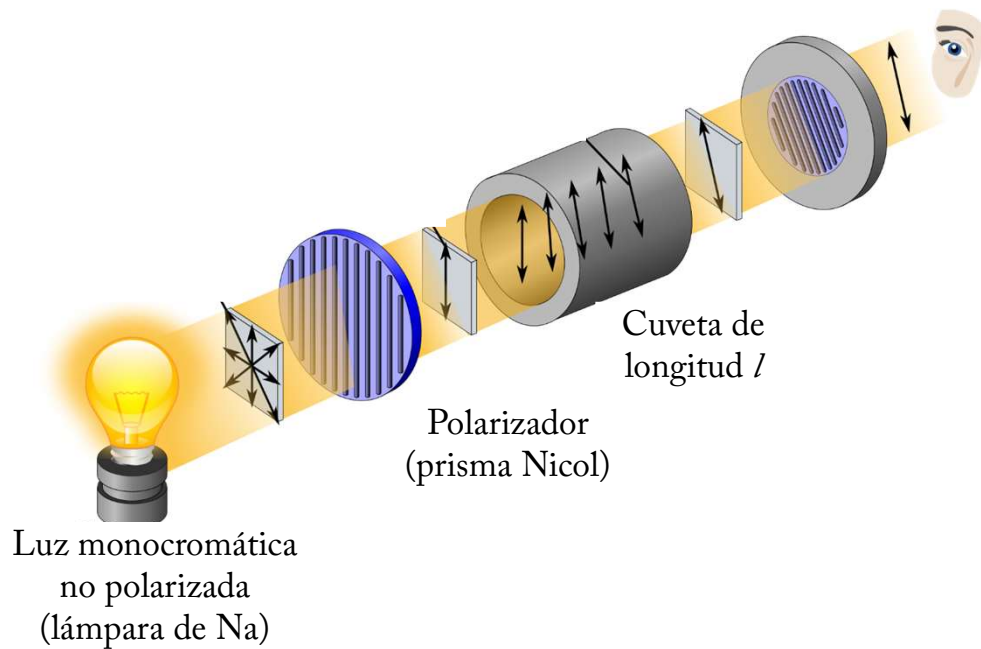
→ Las sustancias que muestran rotaciones específicas que se pueden analizar con un polarímetro incluyen:

- Esteroides
- Diuréticos
- Antibióticos
- Narcóticos
- Vitaminas
- Analgésicos
- Aminoácidos
- Aceites esenciales
- Polímeros
- Almidones
- Azúcares



ACTIVIDAD OPTICA

- **Polarímetro**: instrumento científico utilizado para medir el ángulo de rotación causado por el paso de luz polarizada a través de una sustancia ópticamente activa
- Cuando la luz polarizada (unidireccional) pase a través de estas, las sustancias ópticamente activas podrán rotar el plano de polarización hacia la izquierda (sentido antihorario → Levógira) o hacia la derecha (sentido horario → Dextrógira).
- La magnitud de esa rotación del plano de polarización se conoce como ángulo de rotación.



ACTIVIDAD OPTICA

- La actividad óptica de los enantiómeros es aditiva. Si existen diferentes enantiómeros juntos en una solución, su actividad óptica se suma. Es por eso que una mezcla racémica 50:50 es ópticamente inactiva, ya que anulan sus actividades ópticas.
- La rotación óptica es proporcional a la concentración de las sustancias ópticamente activas en solución. Por lo tanto, los polarímetros pueden aplicarse para mediciones de concentración de muestras con enantiómeros puros.
- Con una concentración conocida de una muestra, los polarímetros también se pueden aplicar para determinar la **rotación específica**, que se usa para caracterizar una nueva sustancia.
- La rotación específica (α_{λ}^T) es una propiedad física y se define como la rotación óptica α para un paso óptico $l = 1$ dm, concentración $C=1\text{g}/100$ mL, a una $T=20^{\circ}\text{C}$, y una longitud de onda de luz $\lambda=589,3$ nm (línea D del sodio).

→ rotación específica para sustancias en solución

$$\alpha_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot C}$$

→ rotación específica para sustancias puras ($\rho =$ densidad = g/mL)

$$\alpha_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot \rho}$$

$$\alpha_D^{20} = \frac{\alpha \cdot 100}{l \cdot C}$$

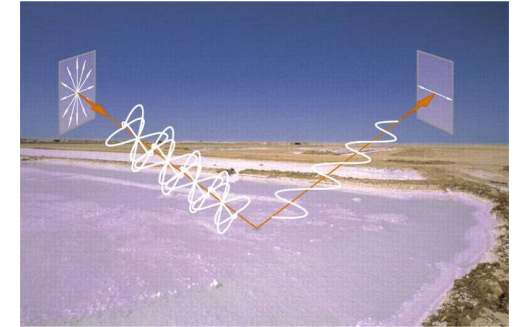
- D → línea del Na 589.3 nm
- 20 → T=20 °C
- α → Angulo de rotación medido (especificar solvente)
- l → paso óptico en decímetros
- C → concentración en g/100 mL
- α_D^{20} → rotación específica (importante indicar el signo + o -)

Rotación específica a 20 °C

■ D-glucose	+52.7
■ D-fructose	-92.4
■ D-galactose	+80.2
■ L-arabinose	+104.5
■ D-mannose	+14.2
■ D-arabinose	-105.0
■ D-xylose	+18.8
■ Lactose	+55.4
■ Sucrose	+66.5
■ Maltose+	+130.4
■ Invert sugar	-19.8
■ Dextrin	+195

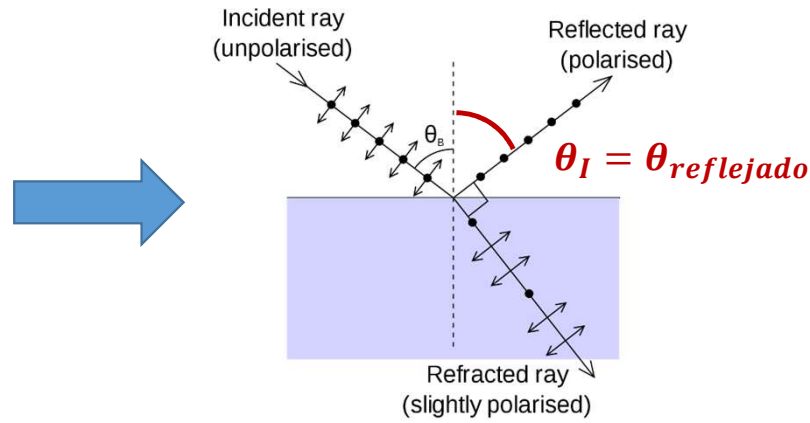
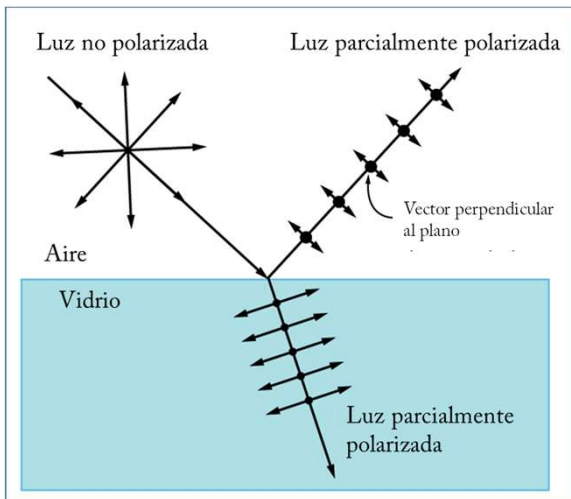
ACTIVIDAD OPTICA

Generación de luz polarizada



→ Reflexión y transmisión en superficies transparentes:

- Cuando la luz incide en un ángulo (θ_B) tal que el ángulo que forman el haz reflejado con el refractado es 90° , entonces la luz reflejada está polarizada plana, con la dirección de polarización paralela al plano en el cual se refleja el haz.



$$\theta_I = \theta_{reflejado} \quad \Rightarrow \quad \theta_I + 90^\circ + \theta_R = 180^\circ \quad \Rightarrow \quad \theta_I = 180^\circ - 90^\circ - \theta_R = \theta_{Brewster} \quad \Rightarrow \quad \theta_R = 90^\circ - \theta_{Brewster}$$

$$n_1 \cdot \sin \theta_I = n_2 \cdot \sin \theta_R \quad \Rightarrow \quad n_1 \cdot \sin \theta_{Brewster} = n_2 \cdot \sin \theta_R \quad \Rightarrow \quad n_1 \cdot \sin \theta_{Brewster} = n_2 \cdot \sin(90^\circ - \theta_{Brewster})$$

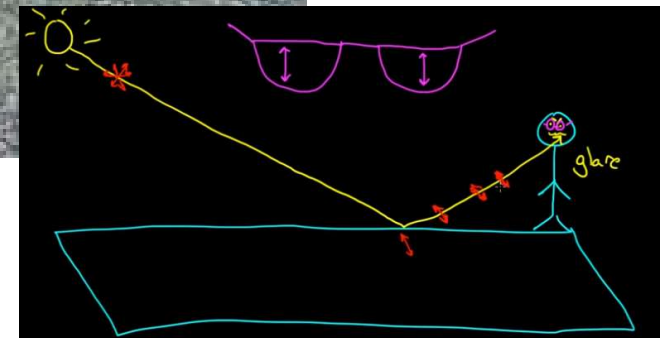
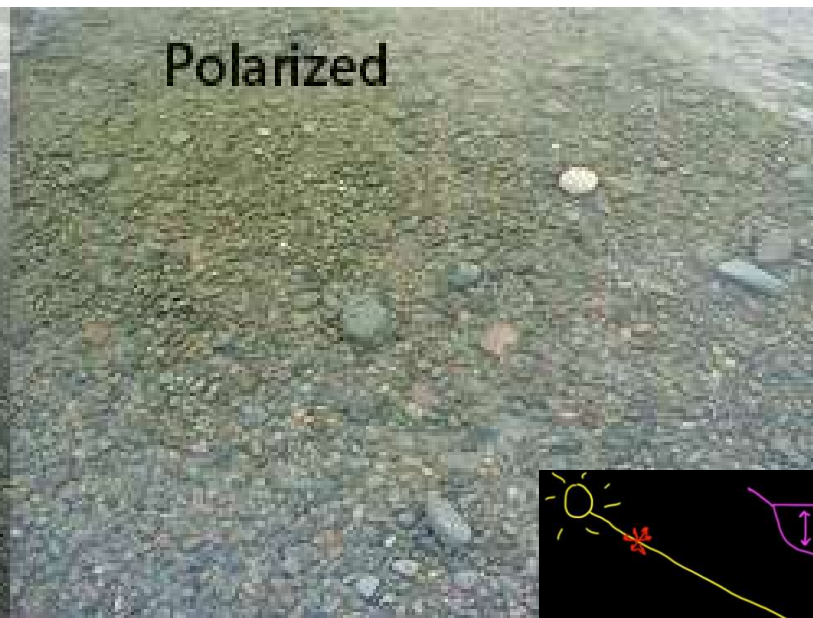
$$n_1 \cdot \sin \theta_{Brewster} = n_2 \cdot \cos \theta_{Brewster} \quad \Rightarrow \quad \frac{\sin \theta_{Brewster}}{\cos \theta_{Brewster}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \Rightarrow \quad \tan \theta_{Brewster} = \frac{n_2}{n_1}$$

ACTIVIDAD OPTICA

Generación de luz polarizada

→ Reflexión y transmisión en superficies transparentes

$$\tan \theta_{Brewster} = \frac{n_2}{n_1}$$

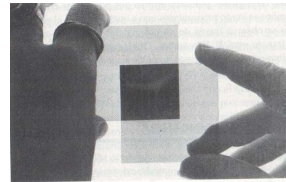
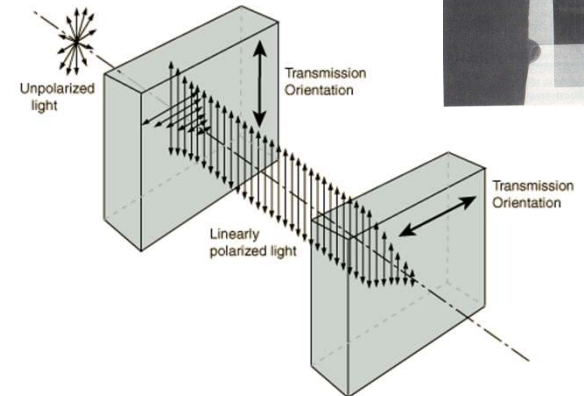
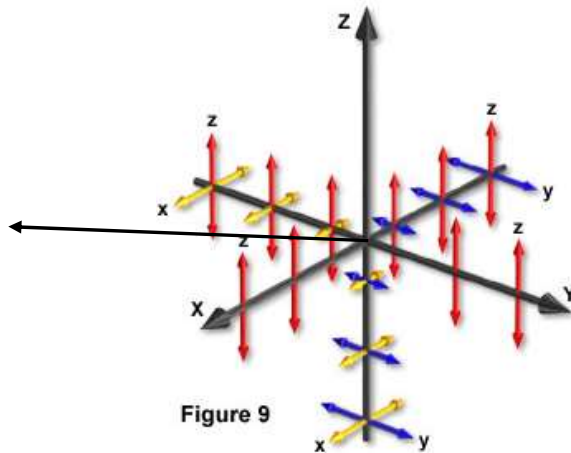


ACTIVIDAD OPTICA

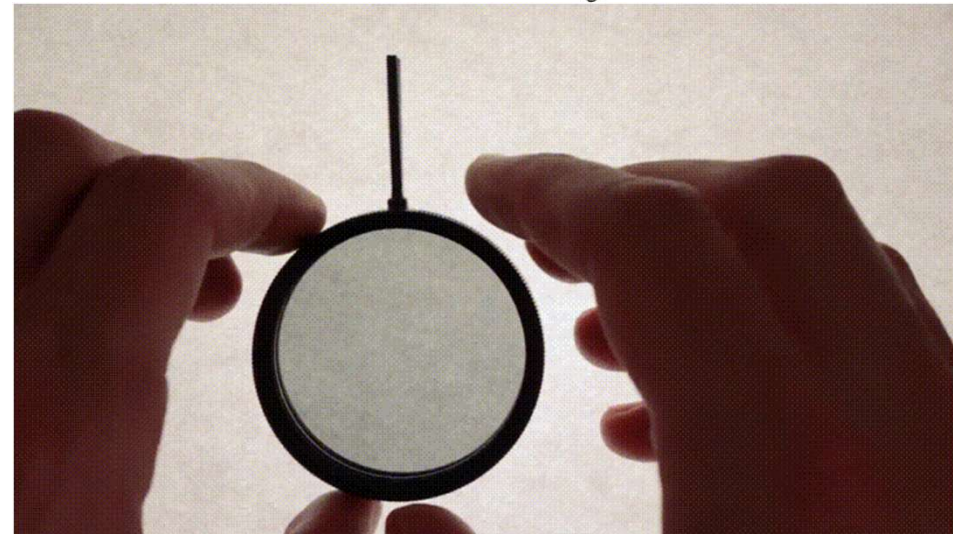
Generación y detección de luz polarizada

→ Dicroísmo: **absorción selectiva** de una de las componentes del E del haz de luz incidente en el material.

→ Cristales dicroicos: materiales con anisotropía en la estructura cristalina donde el eje de transmisión está determinado por su configuración atómica. Ejemplo: turmalina, silicato de boro con impurezas de Fe; herapatita o peryoduro sulfatado de quinina.



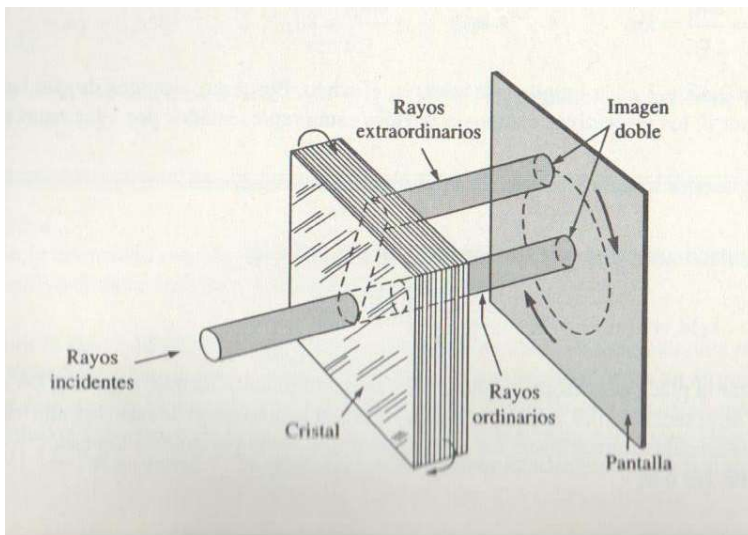
→ Polaroid: láminas de alcohol polivinílico transparente que se calienta, se estira y entonces las largas moléculas del polímero se alinean.



ACTIVIDAD OPTICA

Generación de luz polarizada

- **Birrefringencia:** **No es absorción selectiva!!! Es refracción selectiva** de una de las componentes del campo E.
- La birrefringencia o doble refracción es una propiedad óptica de ciertos materiales (calcita CaCO_3 o cuarzo cristalino SiO_2) que consiste en desdoblar un haz de luz incidente en dos rayos polarizados linealmente de manera perpendicular entre sí.
 - El material se comporta como si tuviera dos índices de refracción distintos: la primera de las dos direcciones sigue las leyes normales de la refracción (Ley de Snell) y se llama rayo ordinario; la otra tiene una velocidad y un índice de refracción variables y se llama rayo extraordinario.
 - El rayo ordinario y el extraordinario están polarizados con direcciones de polarización perpendiculares entre sí.

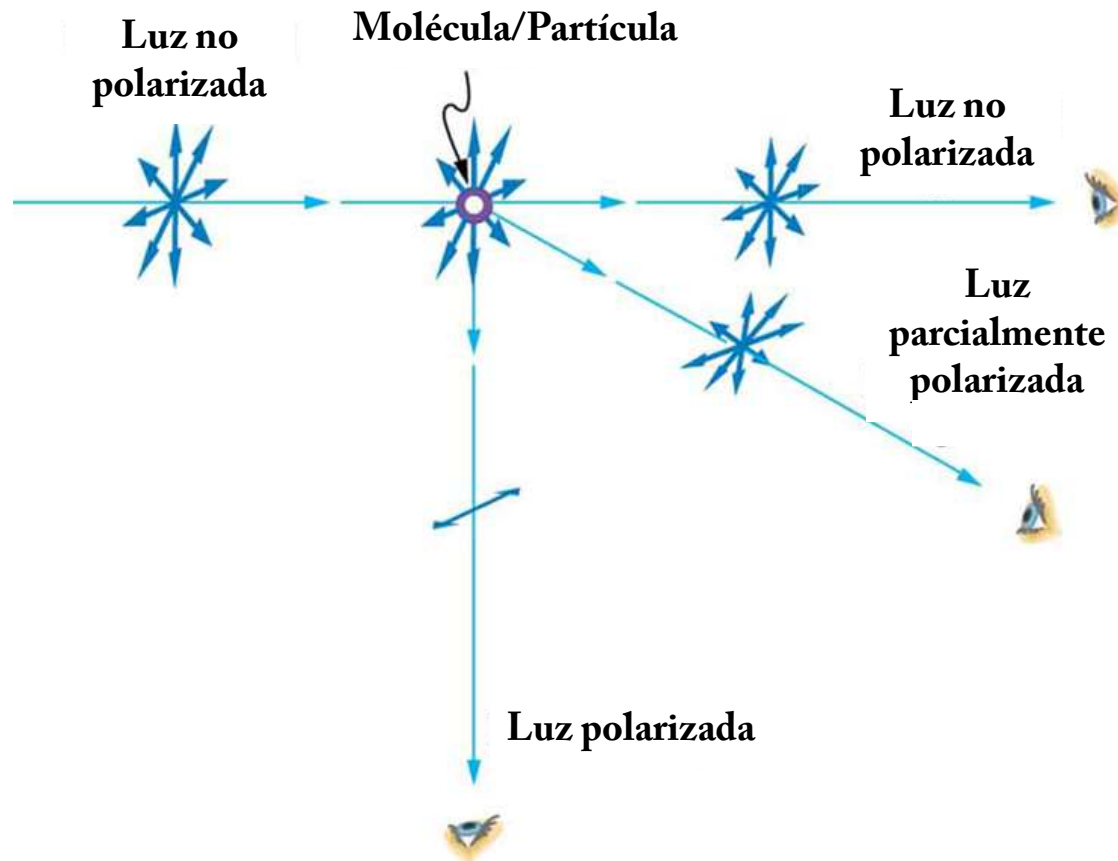


ACTIVIDAD OPTICA

Generación de luz polarizada

→ Dispersión:

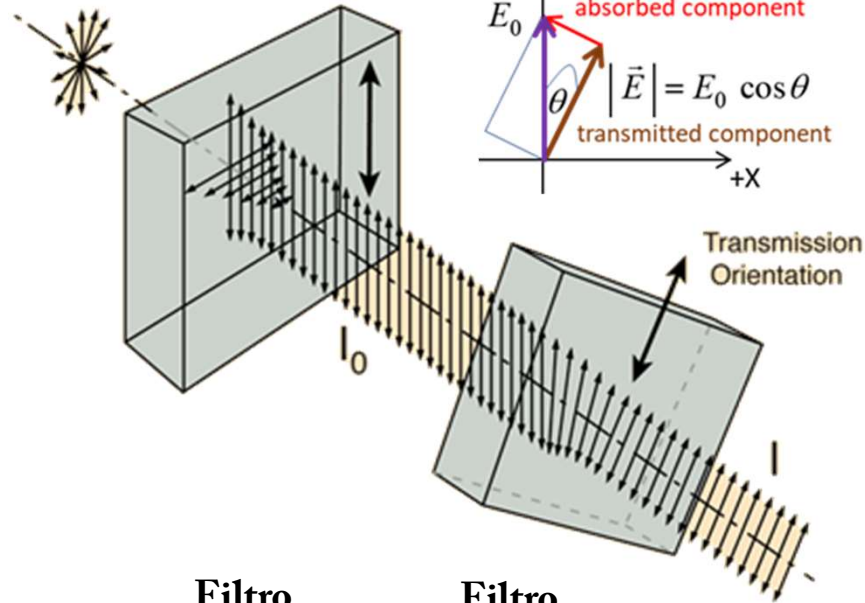
- Las partículas pequeñas (desde moléculas de gas hasta partículas en suspensión en un líquido) pueden dispersar la luz.
- El haz de luz que sale dispersado a 90° del haz incidente está polarizada.



MEDICION DE LA POLARIZACION

Ley de Malus

Luz no polarizada



Intensidad de una onda EM

$$I = \frac{1}{\mu_0 \cdot c} |\vec{E}|^2$$

Intensidad después del filtro polarizador

$$I_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c} E_0^2$$

Intensidad después del filtro analizador

$$I = \frac{1}{\mu_0 \cdot c} E^2$$

$$E = E_0 \cdot \cos \theta$$

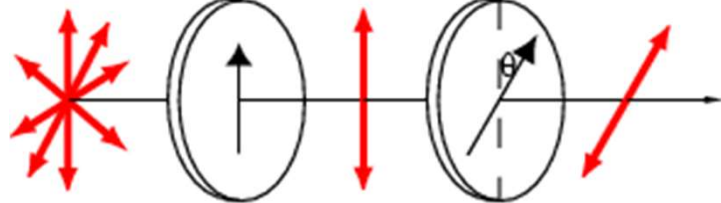
$$\frac{I}{I_0} = \frac{E^2}{E_0^2}$$

$$\frac{I}{I_0} = \frac{(E_0 \cdot \cos \theta)^2}{E_0^2}$$

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \theta$$

Filtro polarizador

Filtro analizador



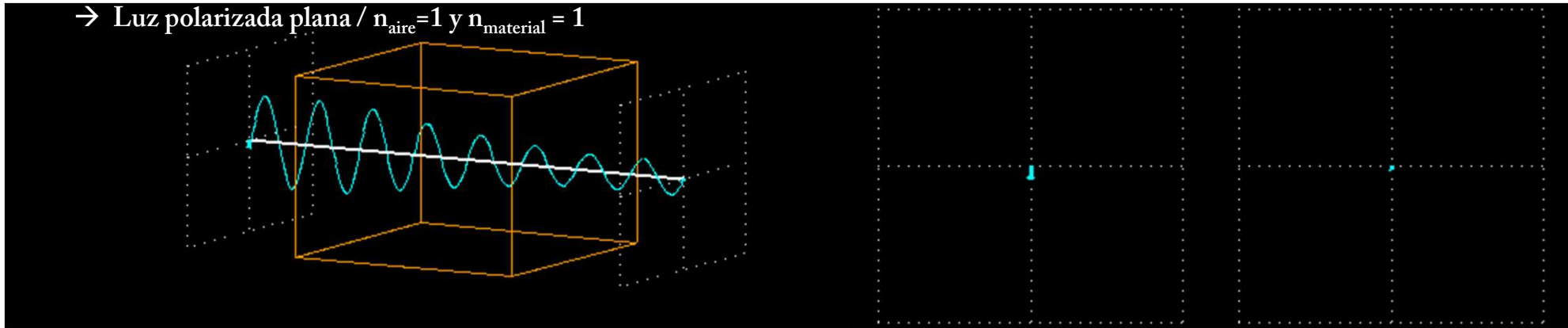
TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroismo circular: Fundamento

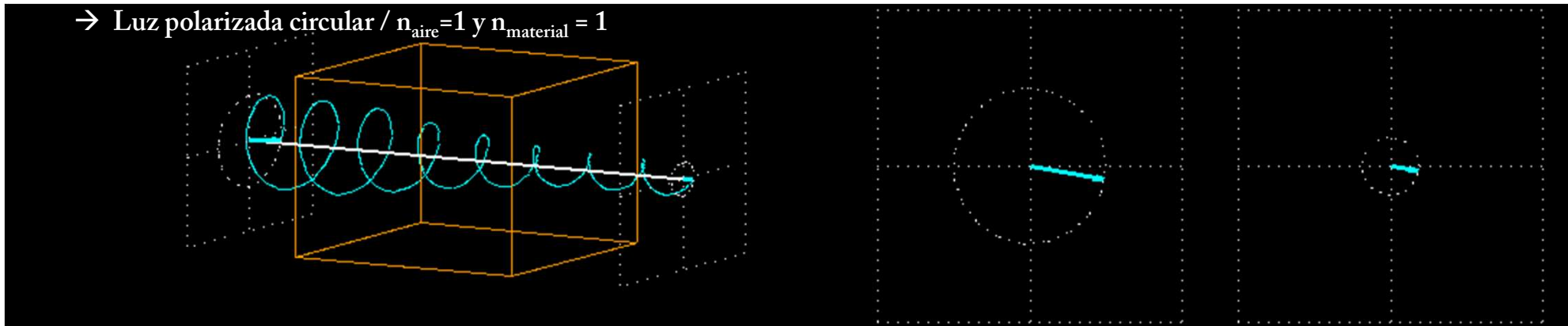
$$I = \frac{1}{\mu_0 \cdot c} |\vec{E}|^2 = \frac{c}{\mu_0} |\vec{B}|^2$$

→ Absorción de luz polarizada en dos medios con índices de refracción iguales

→ Luz polarizada plana / $n_{\text{aire}}=1$ y $n_{\text{material}} = 1$



→ Luz polarizada circular / $n_{\text{aire}}=1$ y $n_{\text{material}} = 1$



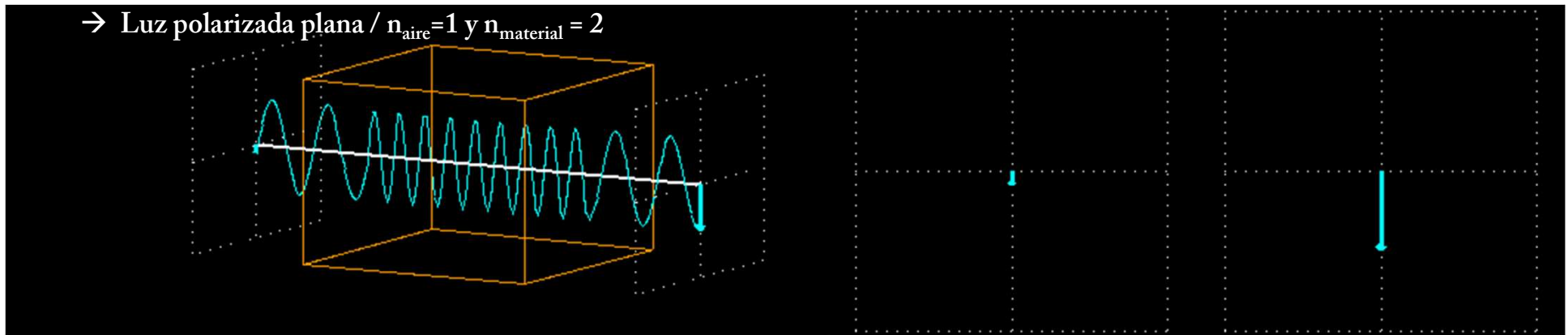
→ Cuando la luz ingresa al medio su intensidad va disminuyendo a medida que atraviesa el medio (de acuerdo con una función exponencial).

TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroismo circular: Fundamento

$$\frac{c}{v_i} = \sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r} = \sqrt{\epsilon_r} = n$$

→ Interacción de luz polarizada en dos medios que no absorben pero con índices de refracción diferentes

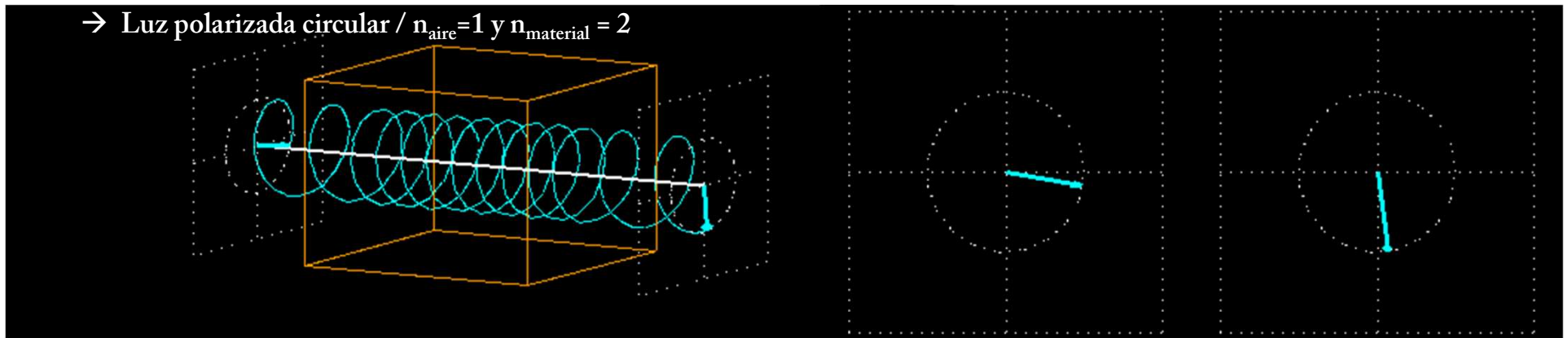


- Cuando el haz de luz entra en el material, su velocidad disminuye porque el índice de refracción (n) del material es mayor que 1.
 - Su frecuencia (f) no cambia, por lo tanto, su longitud de onda (λ) disminuye (el producto de la frecuencia y la longitud de onda deben ser iguales a la velocidad de la luz).
 - En estas animaciones se usó $n = 1$ para el vacío, y $n=2$ para el material. Por lo tanto, la velocidad de la luz en el medio es $[1/2]$ veces la velocidad de la luz en el vacío (c), y su λ también disminuye a $[1/2]$ veces.
 - Cuando la luz sale del material, su v y λ se restablecen a sus valores originales (vacío).
 - Como el material no absorbe la luz, la intensidad de la luz no disminuye.
- Si la distancia que recorre la luz dentro del material no es un múltiplo de λ , la luz que entra y la que sale ya no estarán en fase, si comparamos la situación en la que no está el material.

TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroismo circular: Fundamento

→ Interacción de luz polarizada en dos medios que no absorben pero con índices de refracción diferentes



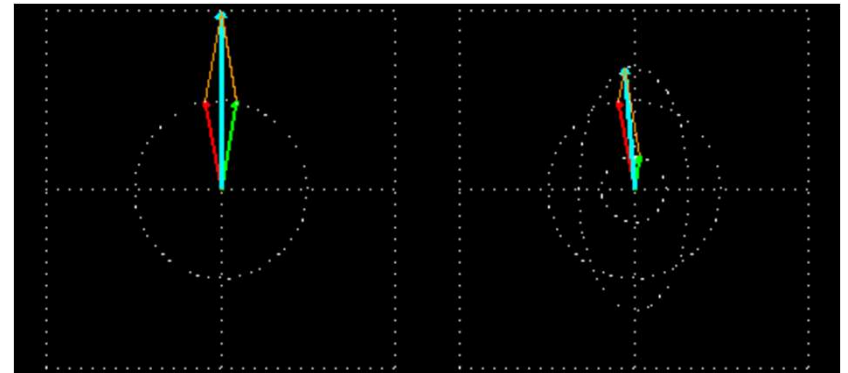
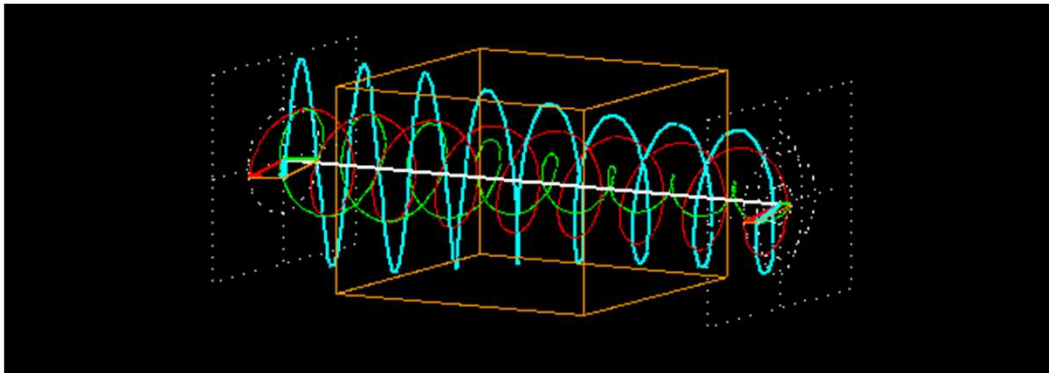
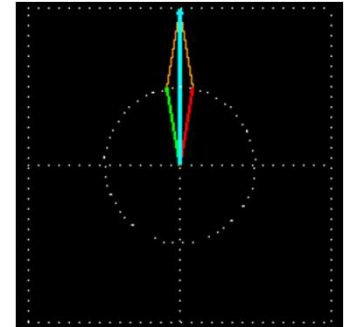
- El fenómeno es similar al presentado para luz con polarización plana.
- La longitud de onda es mucho más pequeña en el material que porque la luz es más lenta en él.
- La intensidad de la luz no disminuye porque el medio no absorbe, o sea, el vector de campo eléctrico de la luz que sale es de la misma longitud que el de la luz entrante porque no hay absorción.

TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroísmo circular: Fundamentos

→ Absorción selectiva de luz circularmente polarizada → dicroísmo circular:

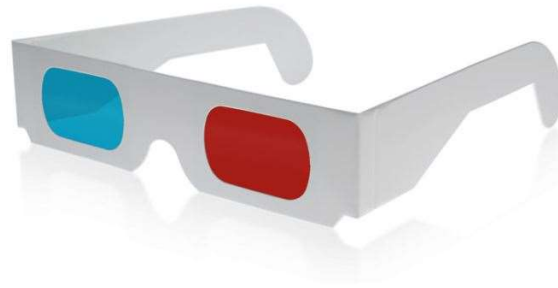
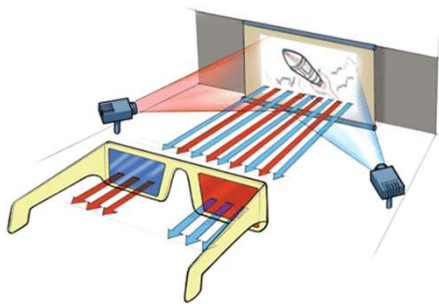
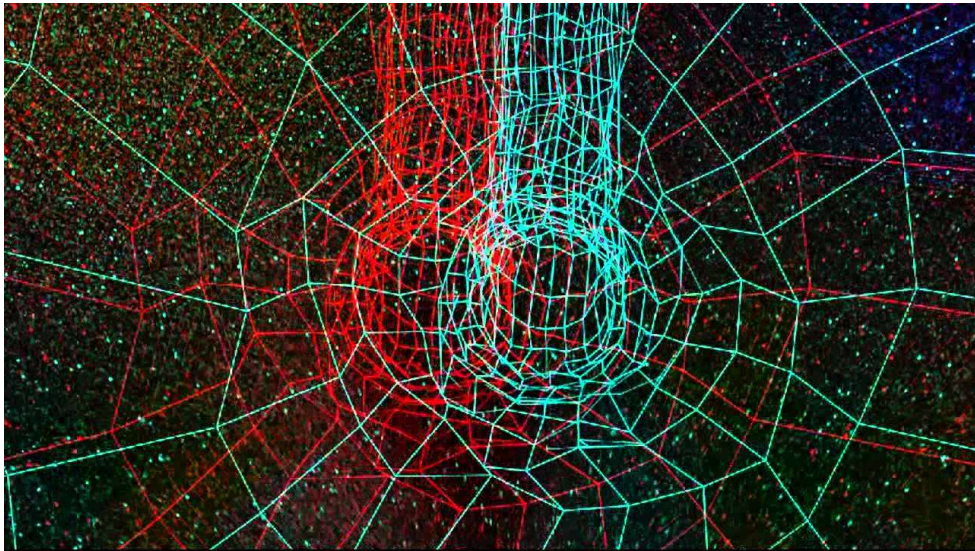
- Algunos materiales pueden absorber luz polarizada circularmente izquierda en un grado diferente que la luz polarizada circularmente derecha (o *vice versa*). Este fenómeno se llama dicroísmo circular.
- La luz polarizada linealmente se puede obtener como la superposición de una onda de luz polarizada circularmente a la izquierda y una onda polarizada circularmente a la derecha:
- Por lo tanto, si la luz polarizada linealmente atraviesa un medio que muestra dicroísmo circular, sus propiedades cambiarán porque el medio absorbe los dos componentes polarizados circularmente en diferente medida.
- Para este ejemplo, la componente verde se absorbe, mientras que la roja no.



- El dicroísmo circular hace que la luz polarizada en el plano se vuelva elípticamente polarizada.

TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroismo circular: Fundamentos



Absorbe completamente luz circularmente polarizada a la derecha.



Absorbe completamente luz circularmente polarizada a la derecha.

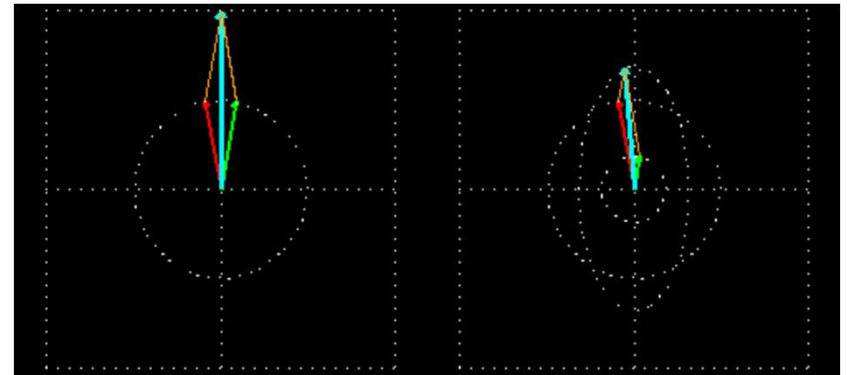
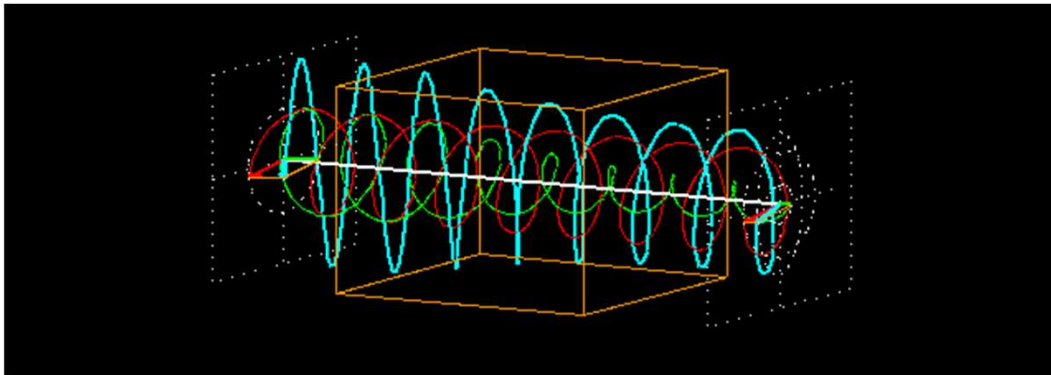


TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroísmo circular: Fundamento

→ Absorción selectiva de luz circularmente polarizada → dicroísmo circular:

- Es inusual que un material no absorba ningún componente circular.
- Los materiales reales generalmente absorben ambos componentes, pero en diferente medida.
- Por simplicidad se presenta la situación en la que el material es completamente transparente para uno de los componentes polarizados circularmente.
- La forma elíptica de la onda polarizada en el plano después de atravesar el medio está determinada por la diferencia entre las absorciones de los dos componentes polarizados circularmente. En el caso más extremo, el material extingue casi por completo un componente, y luego la onda polarizada en el plano casi se convierte en una luz polarizada circular.

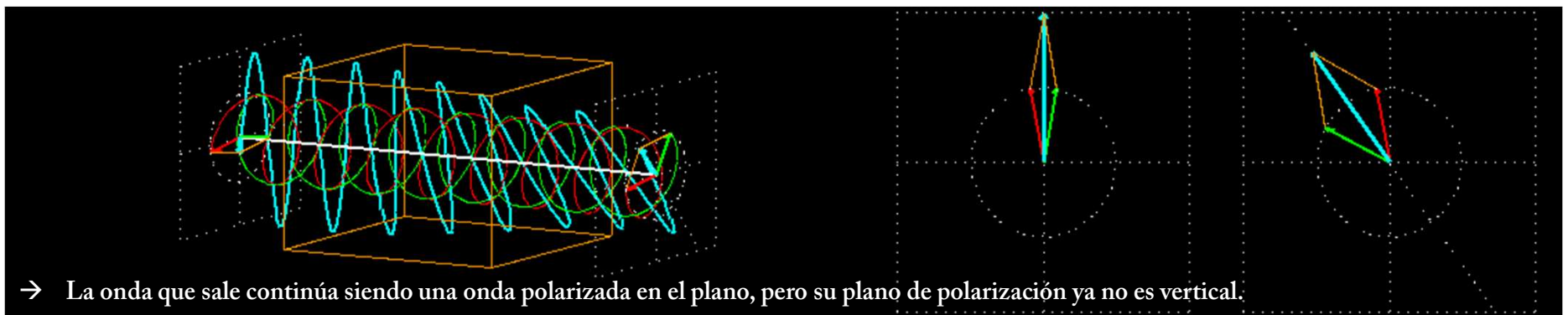


TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroísmo circular: Fundamento

→ Refracción selectiva → birrefringencia circular:

- Así como existen materiales o sustancias que poseen índices de refracción diferentes para haces de luz polarizados en planos diferentes, hay materiales que tienen índice de refracción diferente para la luz polarizada circularmente izquierda y derecha.
- Un haz de luz polarizada linealmente se puede obtener como la superposición de una onda de luz polarizada circularmente a la izquierda y una onda de luz polarizada circularmente a la derecha. Por lo tanto, si la luz polarizada linealmente atraviesa un medio que muestra birrefringencia circular, sus propiedades cambiarán debido a que los dos componentes polarizados circularmente cambian su velocidad en el medio, pero en diferentes magnitudes.
- La animación muestra una onda de luz polarizada en el plano (vertical, azul claro) atravesando un medio que no afecta el componente polarizado circularmente a la izquierda ($n=1$, rojo), pero disminuye un poco la v del componente polarizado circularmente a la derecha ($n = 1.1$, verde).

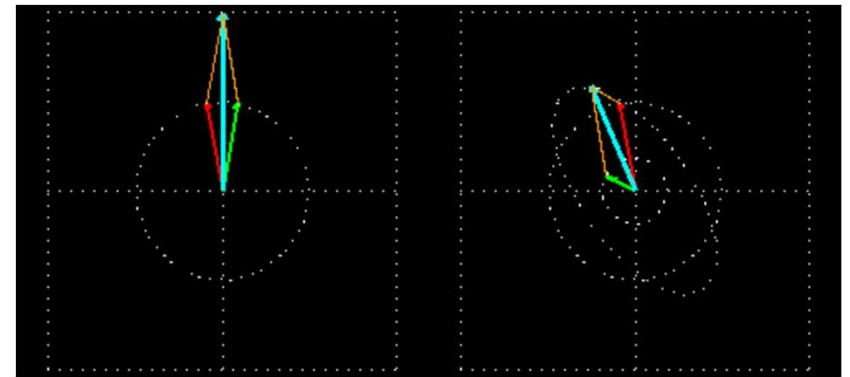
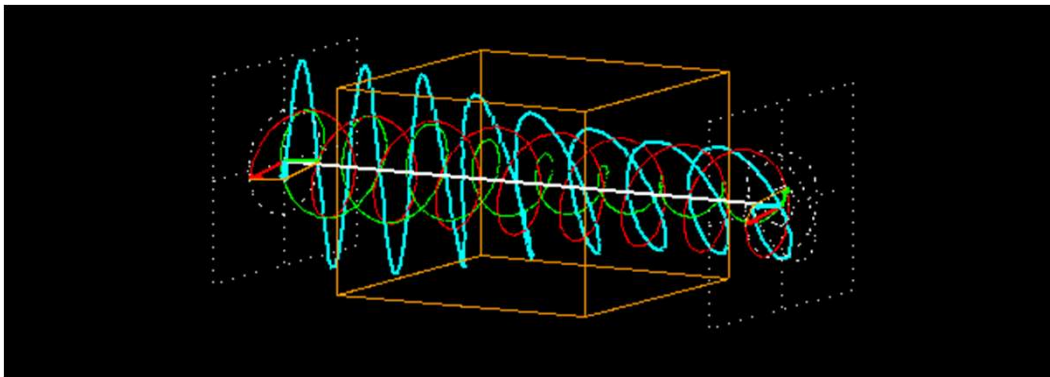


TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroísmo circular: Fundamento

→ Dicroísmo circular + Birrefringencia circular:

- En realidad, rara vez ocurre que un material exhiba dicroísmo circular o birrefringencia circular, por separado.
- La animación muestra lo que sucede cuando una onda polarizada en plano (que se muestra en azul claro) atraviesa un medio que tiene tanto dicroísmo circular como birrefringencia circular.

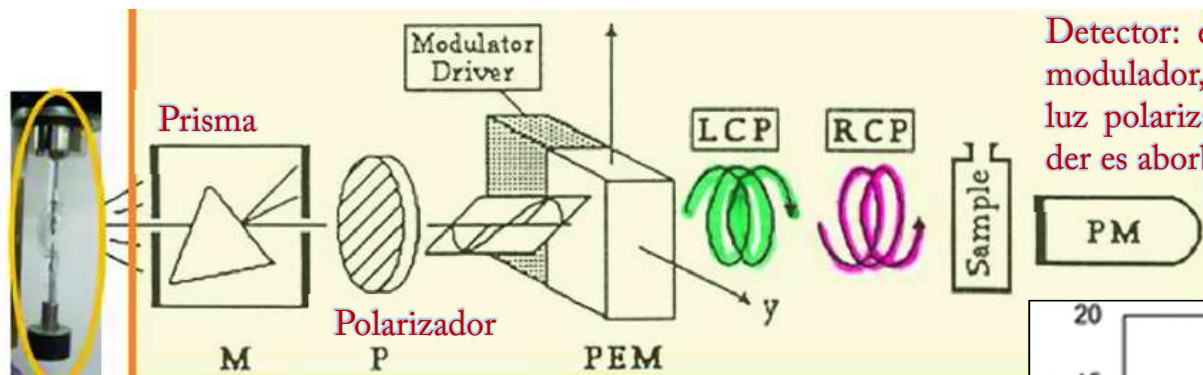


- El componente rojo atraviesa el medio sin cambios, pero el medio tiene absorción y un índice de refracción con respecto al componente verde.
- La luz incidente sufre dos modificaciones aquí: debido al dicroísmo circular, se vuelve elíptica; y debido a la birrefringencia circular, su polarización se rota. Como la luz que sale ya no está polarizada en el plano, no es el plano de polarización el que gira sino el gran eje de la elipse de polarización de la luz polarizada elípticamente.
- Con el instrumento apropiado, se puede medir la elipticidad y el ángulo de rotación del plano de polarización de la luz. A partir de esos datos, se puede calcular la diferencia entre las absorciones y los índices de refracción con respecto a las luces polarizadas circularmente izquierda y derecha.

TECNICAS ESPECTROSCOPICAS

Dicroísmo circular: Aplicación

- El dicroísmo circular y la birrefringencia circular son causados por la asimetría de la estructura molecular de la materia. La actividad óptica de las soluciones de macromoléculas biológicas proporciona información sobre las propiedades estructurales de las macromoléculas.
- Esto es ampliamente utilizado en espectroscopia de macromoléculas biológicas.



Detector: en fase con el modulador, mide cuanta luz polarizada a la izq y der es absorbida

Fuente de luz

Modulador: Genera luz circularmente polarizada. Alterna entre Izq y Der a 50 Hz

