Polarización

FÍSICA 2Q

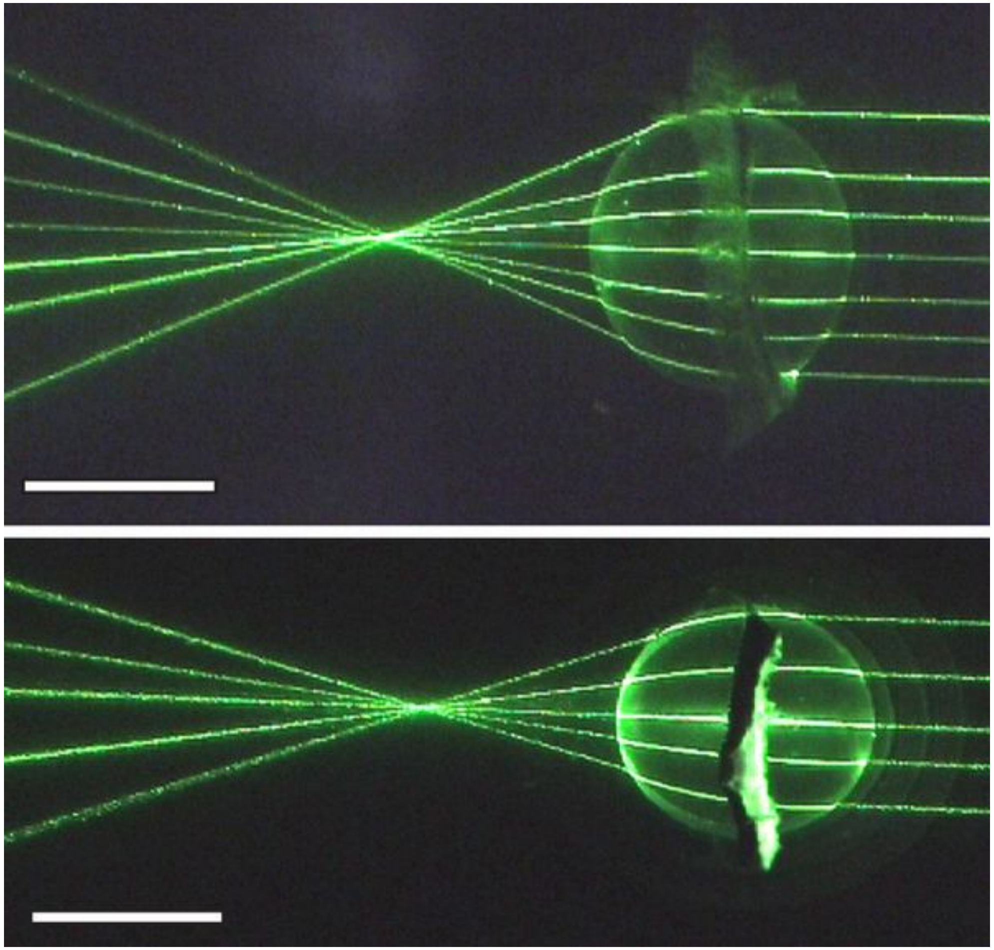
6 de junio de 2018

v2.3

Descripciones de la luz (desde F1 hasta acá…)

Rayos (óptica geométrica, F1):

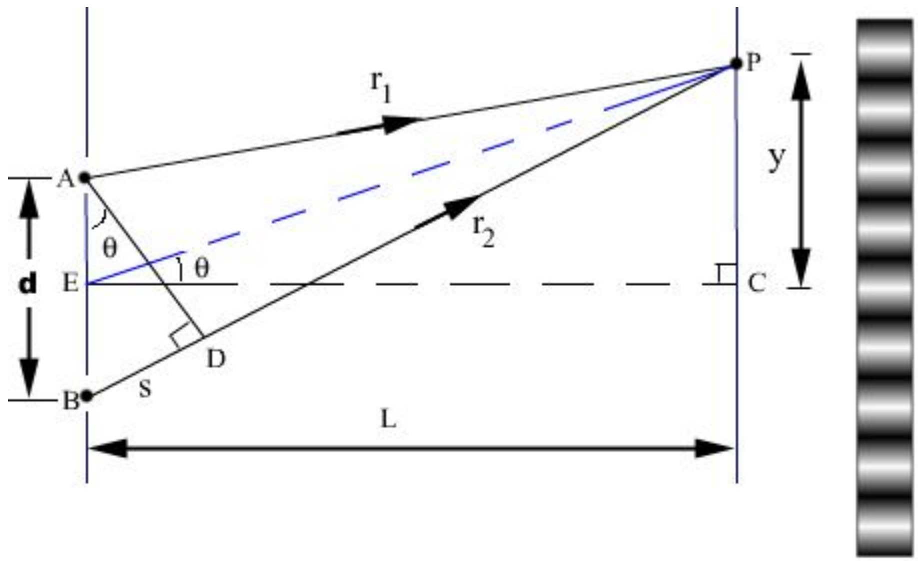
1. Permiten entender la propagación de la luz
2. No nos dicen nada de los fenómenos ondulatorios (no necesitamos la ecuación de ondas).
3. Tampoco nos preocupan: podemos formar imágenes sin describir a la luz como una onda (en principio).
4. Lo mismo para interacción con interfaces (transmisión y reflexión)



Descripciones de la luz (desde F1 hasta acá…)

Ondas (óptica ondulatoria, F2):

1. La luz es una oscilación del campo eléctrico (sale de las ecuaciones de Maxwell)
2. Ahora podemos entender fenómenos de interferencia y difracción
3. Seguimos usando rayos (son útiles para entender diferencias de fase).

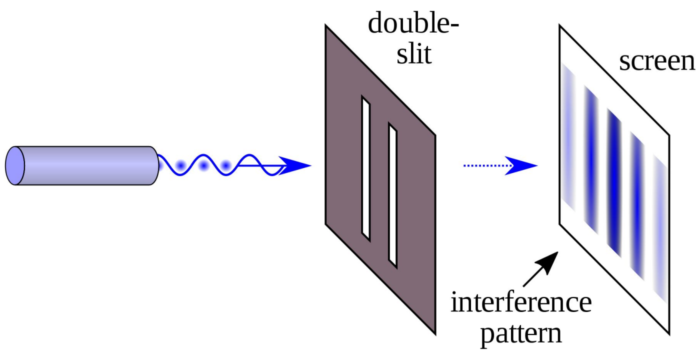


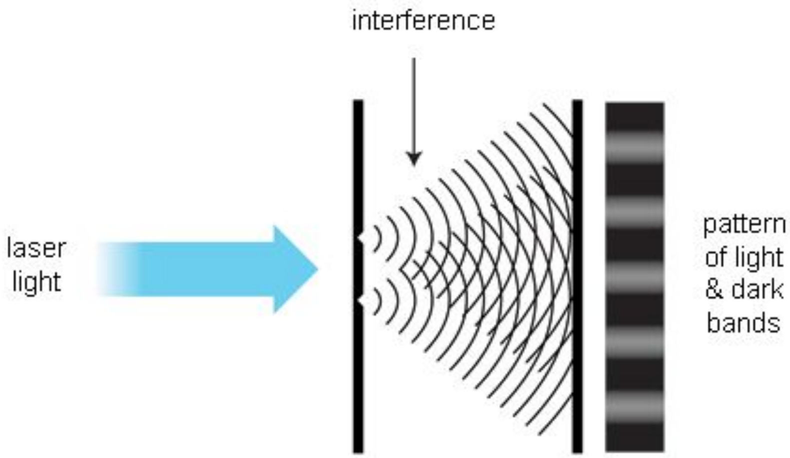
Vector de onda k

Tipos de ondas

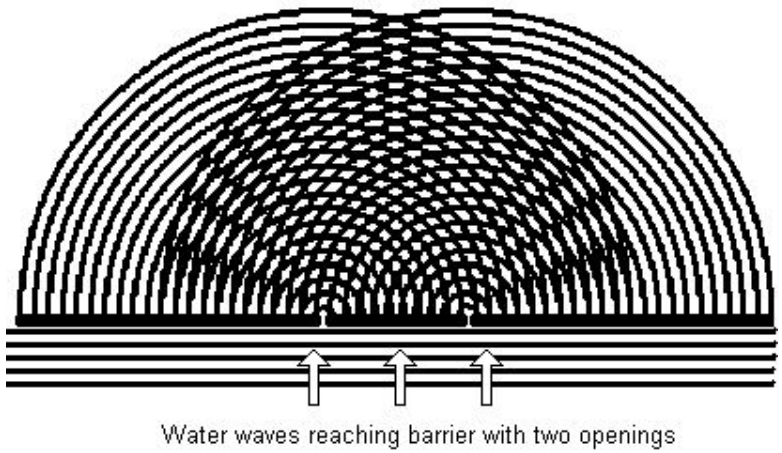
Sin embargo, qué diferencia existe entre?

LUZ



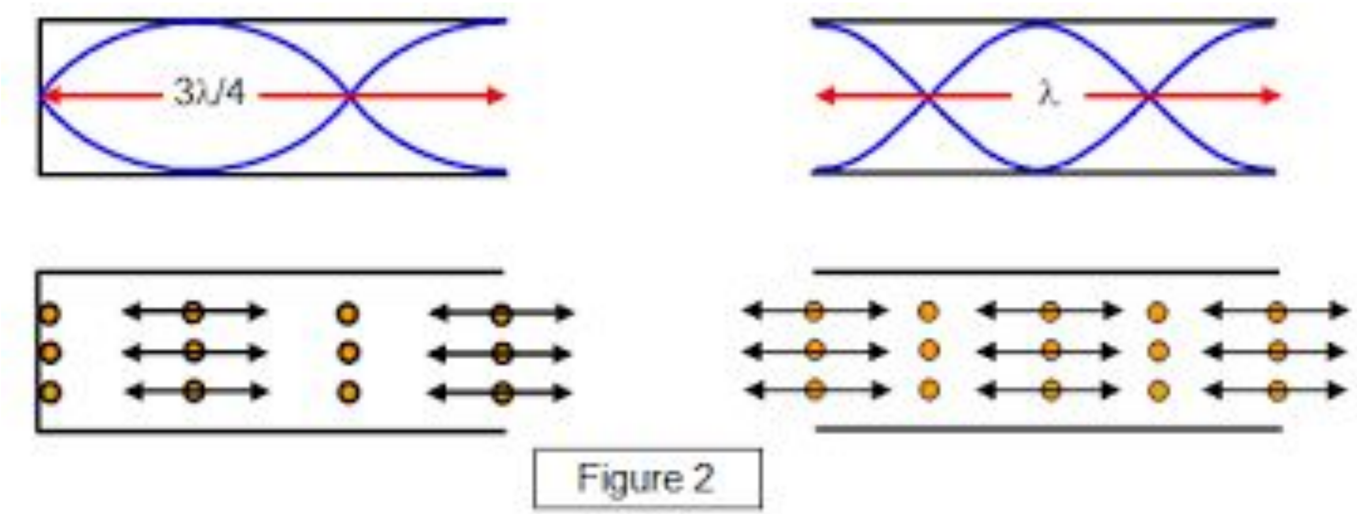


AGUA / SONIDO



Tipos de ondas

SONIDO

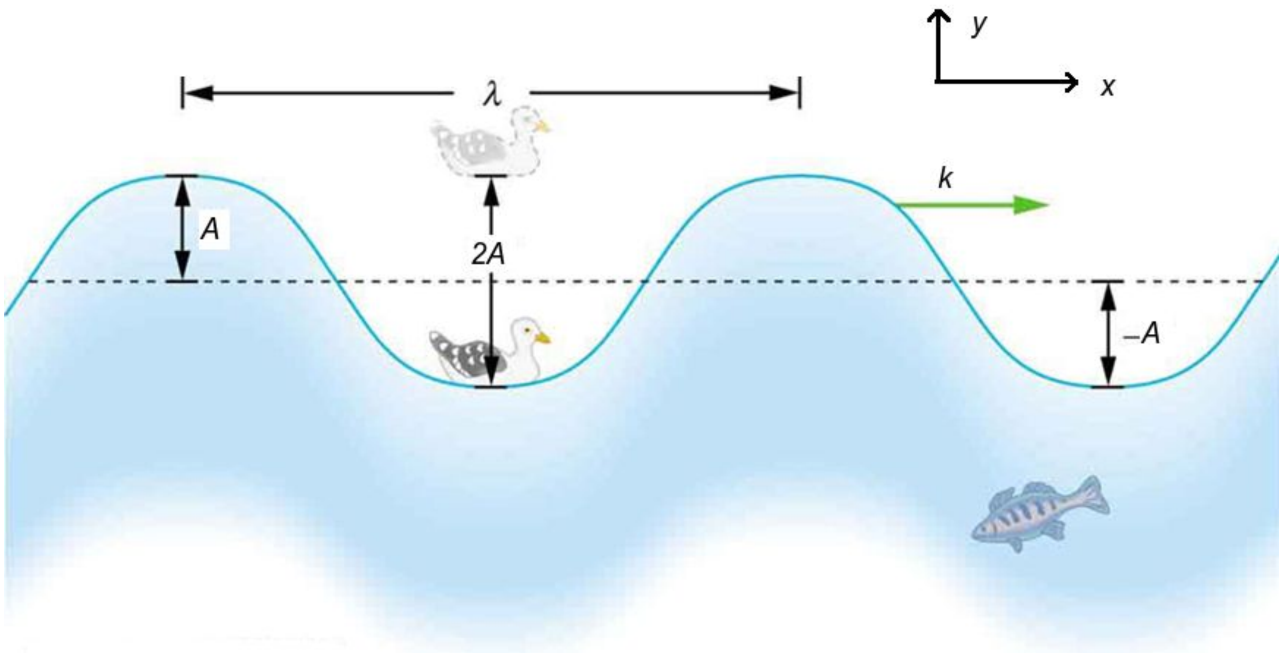


$$A\hat{x} \cdot \exp(i(kx - \omega t))$$

Onda longitudinal, perturbación paralela a la propagación

Tipos de ondas

AGUA

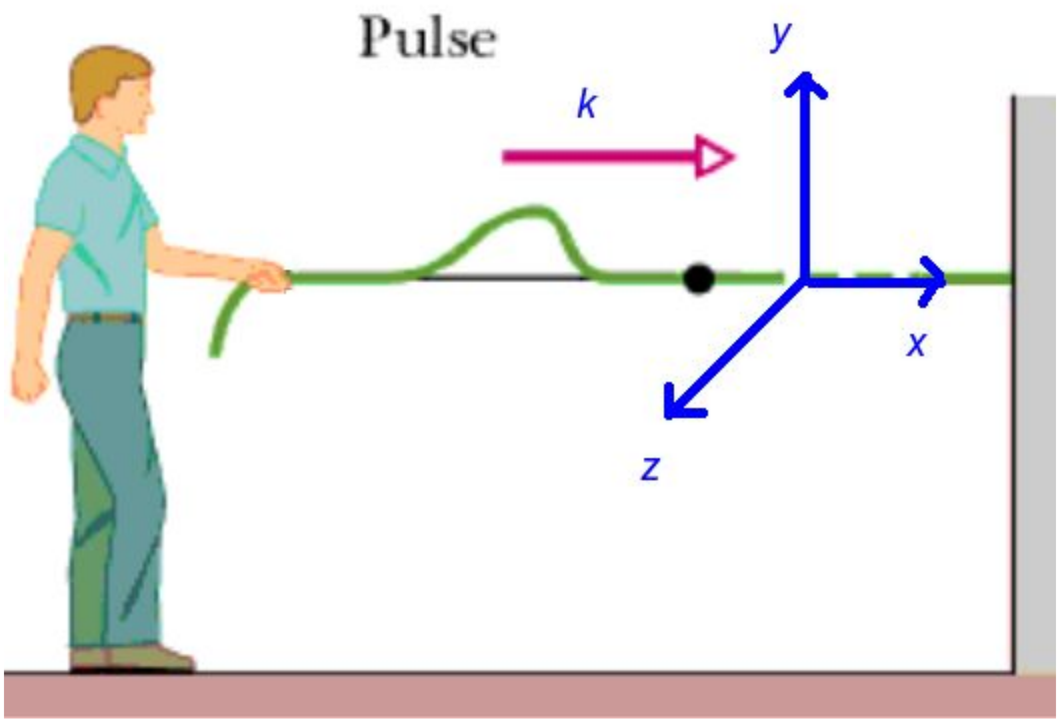


$$A\hat{y} \cdot \exp(i(kx - \omega t))$$

Onda transversal, perturbación en Y, propagación en X (perpendiculares)

Tipos de ondas

CUERDA

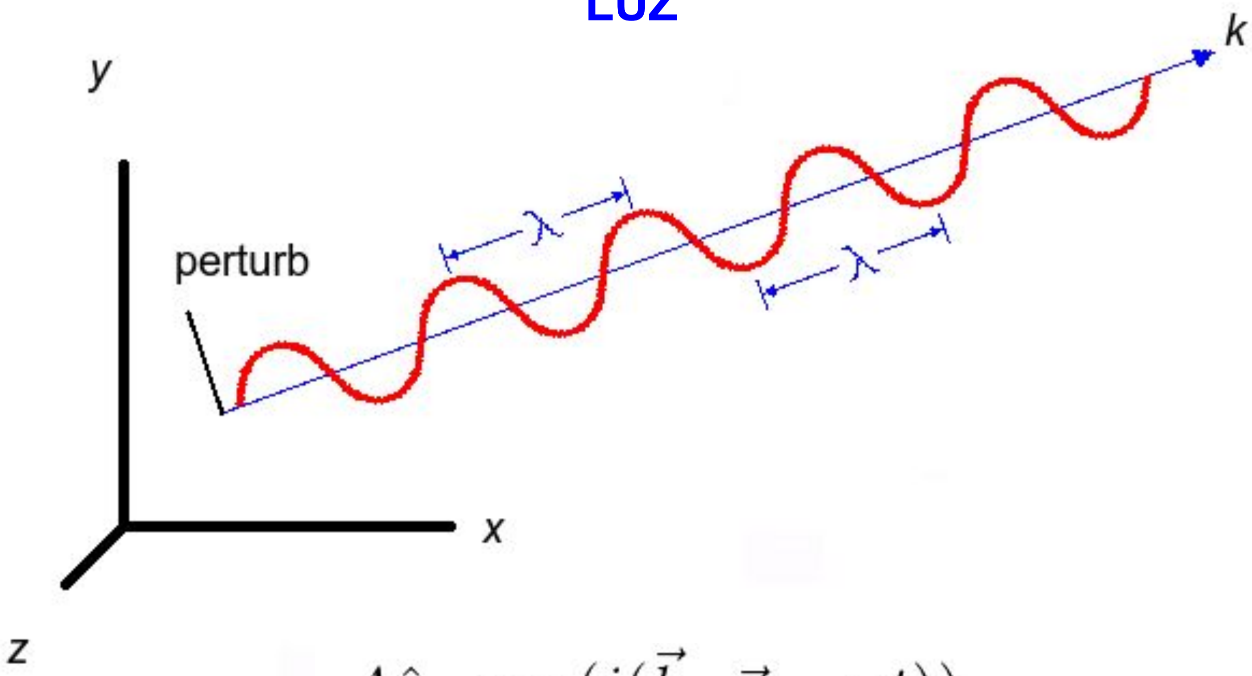


$$(A_y\hat{y} + A_z\hat{z}) \cdot \exp(i(kx - \omega t))$$

Onda transversal, perturbación en YZ, propagación en X

Tipos de ondas

LUZ



$$A\hat{\nu} \cdot \exp(i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t))$$
$$\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$$
$$\vec{k} = k_x\hat{x} + k_y\hat{y} + k_z\hat{z}$$
$$\vec{\mu} \perp \vec{r}$$

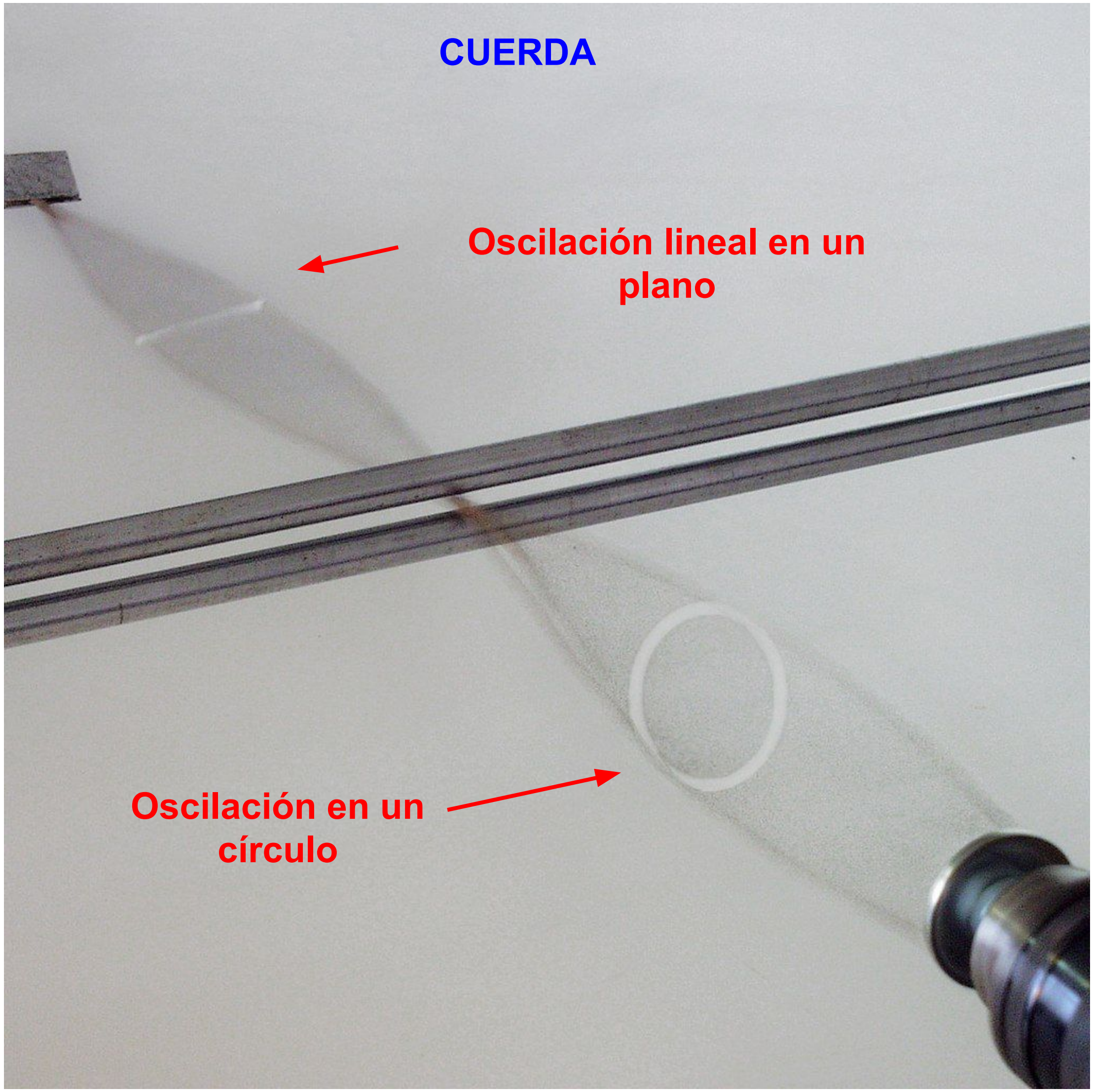
Onda transversal, perturbación ⊥ propagación

Tipos de ondas

- Las ondas de sonido son longitudinales
- Las ondas en cuerdas, en agua, y las de luz son transversales
- Las perturbaciones en el agua son 1D (hacia arriba y abajo)
- Las perturbaciones en la cuerda y en el campo eléctrico son **2D** (en el plano perpendicular a la dirección de propagación)

Las ondas en cuerdas y del campo eléctrico son POLARIZADAS

Ondas polarizadas



Ondas polarizadas

Por simplicidad supongamos una onda que se propaga en *z*

$$(A_x\hat{x} + A_y\hat{y}) \cdot \exp(i(kz - \omega t))$$

$$\left.\begin{aligned} A_x &= A_1 \cdot e^{i\theta_1} \\ A_y &= A_2 \cdot e^{i\theta_2} \end{aligned}\right\} \text{constantes complejas}$$

El tipo de polarización se debe a las distintas relaciones de fase y amplitud que puede haber entre A_x y A_y

Veamos cómo funciona...

Tipos de polarización

LINEAL

$$\begin{aligned}\vec{E}(z,t) &= (E_x e^{i\theta}\hat{x} + E_y e^{i\theta}\hat{y}) \cdot e^{i(kz-\omega t)} \\ &= (E_x\hat{x} + E_y\hat{y}) \cdot e^{i\theta} e^{i(kz-\omega t)} \\ &= (E_x\hat{x} + E_y\hat{y}) \cdot e^{i(kz-\omega t+\theta)}\end{aligned}$$

Las perturbaciones en *x* e *y* tienen la <u>misma fase</u>

Tipos de polarización

LINEAL

$$\begin{aligned}\vec{E}(z,t) &= (E_x e^{i\theta}\hat{x} + E_y e^{i\theta}\hat{y}) \cdot e^{i(kz-\omega t)} \\ &= (E_x\hat{x} + E_y\hat{y}) \cdot e^{i\theta} e^{i(kz-\omega t)} \\ &= (E_x\hat{x} + E_y\hat{y}) \cdot e^{i(kz-\omega t+\theta)}\end{aligned}$$

Las perturbaciones en *x* e *y* tienen la <u>misma fase</u>

$$\begin{aligned}\vec{E}_1(z,t) &= E_x \cos(kz - \omega t + \theta_x)\hat{x} \\ \vec{E}_2(z,t) &= E_y \cos(kz - \omega t + \theta_x)\hat{y}\end{aligned}$$

Tipos de polarización

CIRCULAR

$$\vec{E}(z,t) = (E_0\hat{x} + E_0 e^{\pm i\pi/2}\hat{y}) \cdot e^{i(kz-\omega t)},$$
$$\vec{E}(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t)}\hat{x} + E_0 e^{i(kz-\omega t)} e^{\pm i\pi/2}\hat{y},$$
$$\vec{E}(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t)}\hat{x} + E_0 e^{i(kz-\omega t \pm i\pi/2)}\hat{y}$$

Las perturbaciones en *x* e *y* tienen la misma amplitud y están desfasadas en pi/2

Tipos de polarización

CIRCULAR

$$\vec{E}(z,t) = (E_0\hat{x} + E_0 e^{\pm i\pi/2}\hat{y}) \cdot e^{i(kz-\omega t)},$$
$$\vec{E}(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t)}\hat{x} + E_0 e^{i(kz-\omega t)} e^{\pm i\pi/2}\hat{y},$$
$$\vec{E}(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t)}\hat{x} + E_0 e^{i(kz-\omega t \pm i\pi/2)}\hat{y}$$

Las perturbaciones en *x* e *y* tienen la <u>misma amplitud</u> y están <u>desfasadas en pi/2</u>

$$\vec{E}_1(z,t) = E_0\cos(kz-\omega t)\hat{x}$$
$$\vec{E}_2(z,t) = E_0\cos(kz-\omega t \pm \pi/2)\hat{y} = \mp E_0\sin(kz-\omega t)\hat{y}$$
$$\vec{E}(z,t) = E_0\cos(kz-\omega t)\hat{x} \mp E_0\sin(kz-\omega t)\hat{y}$$

Tipos de polarización

CIRCULAR DERECHA (horaria vista por el receptor)

cos(x-pi/2) = seno(x)

$$\vec{E}(z,t) = E_0 \cos(kz - \omega t)\hat{x} + E_0 \sin(kz - \omega t)\hat{y}$$

CIRCULAR IZQUIERDA (antihoraria vista por el receptor)

cos(x+pi/2) = -seno(x)

$$\vec{E}(z,t) = E_0 \cos(kz - \omega t)\hat{x} - E_0 \sin(kz - \omega t)\hat{y}$$

Tipos de polarización

CIRCULAR = SUMA DE DOS HACES CON POLARIZACIÓN LINEAL

$$\vec{E}(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t)}\hat{x} + E_0 e^{i(kz-\omega t \pm i\pi/2)}\hat{y}$$

$$\vec{E}(z,t) = \vec{E}_1(z,t) + \vec{E}_2(z,t)$$
$$\vec{E}_1(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t)}\hat{x}$$
$$\vec{E}_2(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t \pm i\pi/2)}\hat{y}$$

Hasta ahora: superposición de dos haces generaba interferencia

Novedad: La superposición de dos haces con diferente polarización puede producir un nuevo haz con una nueva polarización

En interferencia nunca nos preocupamos porque siempre asumimos que las fuentes tenían igual polarización (y además lineal)

Tipos de polarización

ELÍPTICA (CASO GENERAL, COMPRENDE A LAS OTRAS DOS)

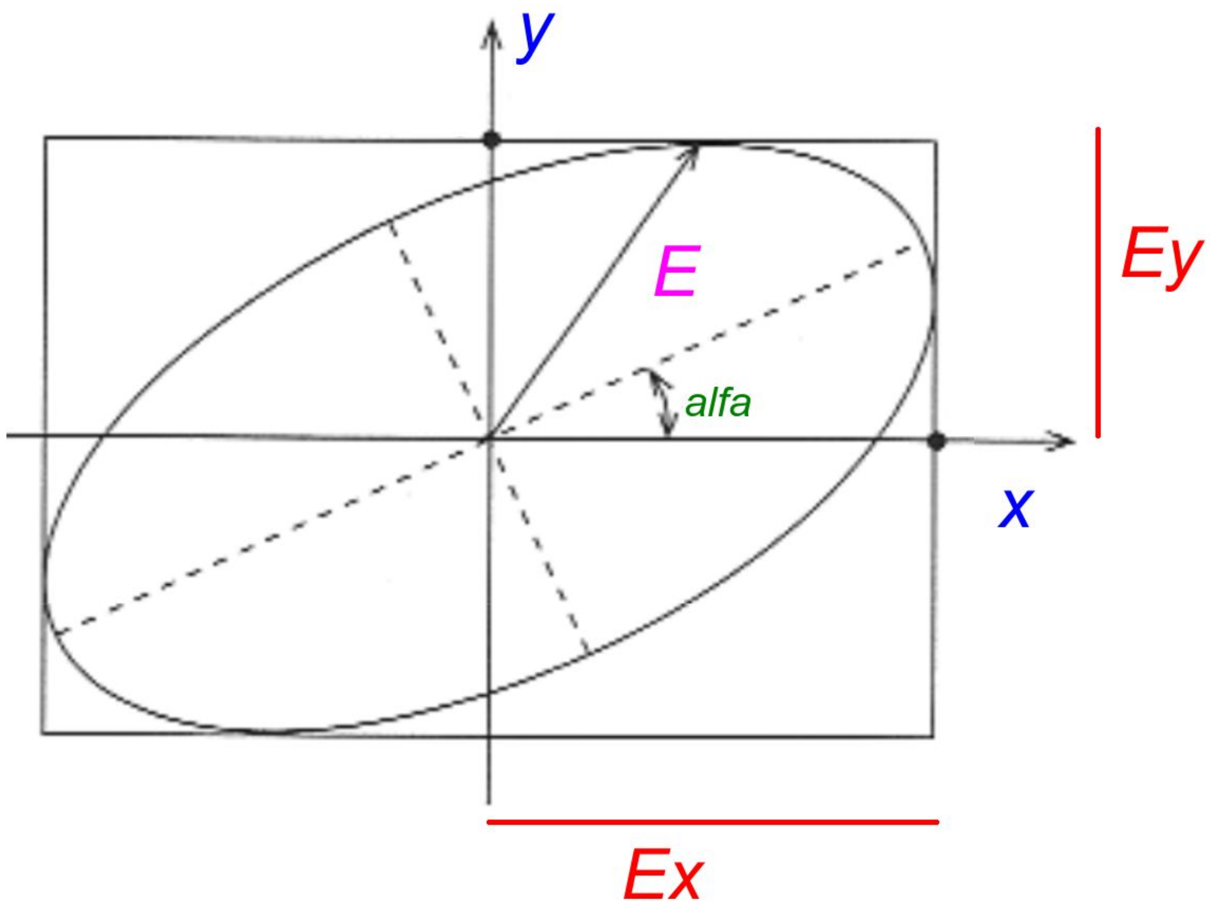
$$\vec{E}(z,t) = \vec{E}_1(z,t) + \vec{E}_2(z,t)$$
$$\vec{E}_1(z,t) = E_x e^{i(kz-\omega t)}\hat{x}$$
$$\vec{E}_2(z,t) = E_y e^{i(kz-\omega t+\epsilon)}\hat{y}$$

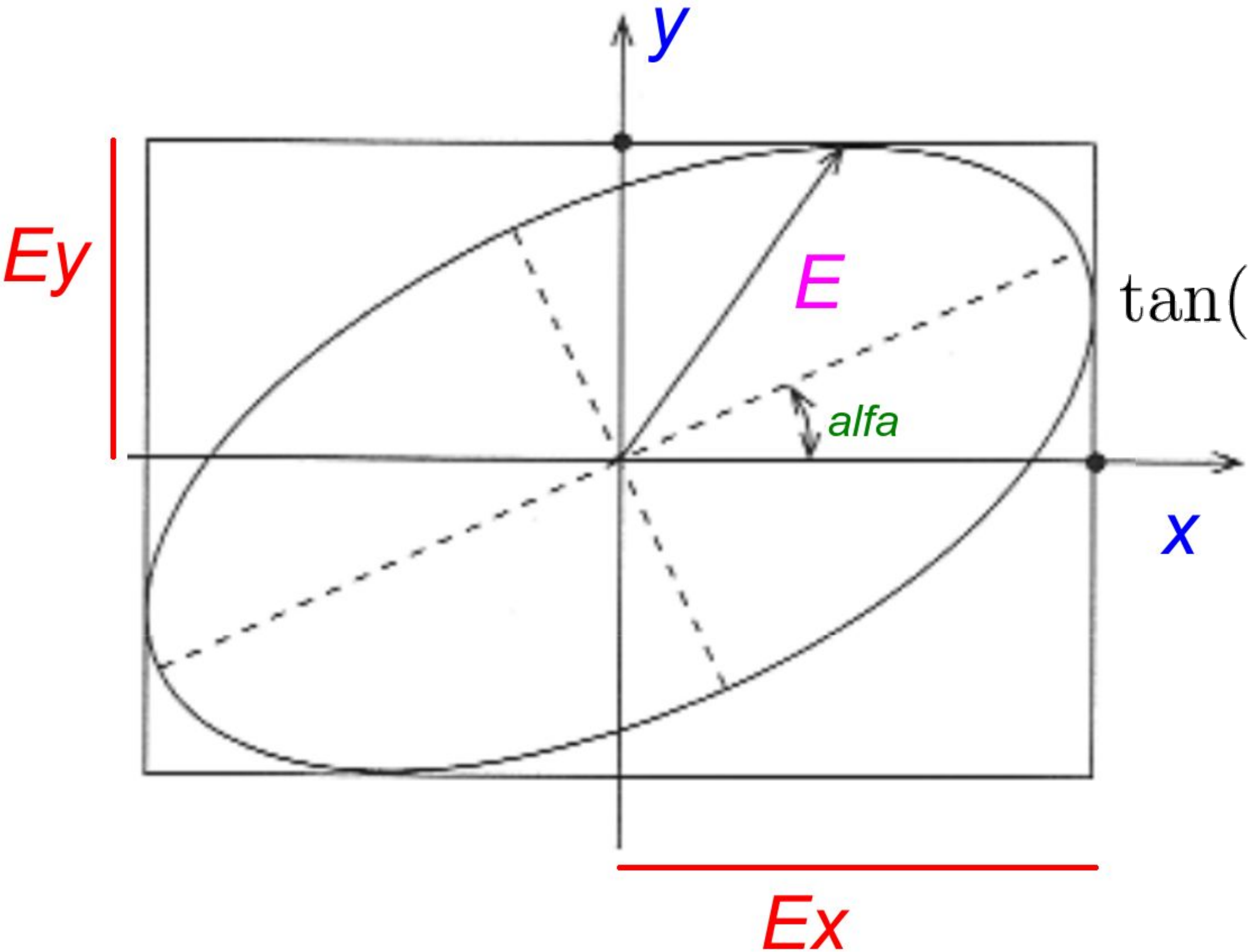
Las dos componentes tienen relación de <u>fases y amplitudes arbitraria</u>

Tipos de polarización

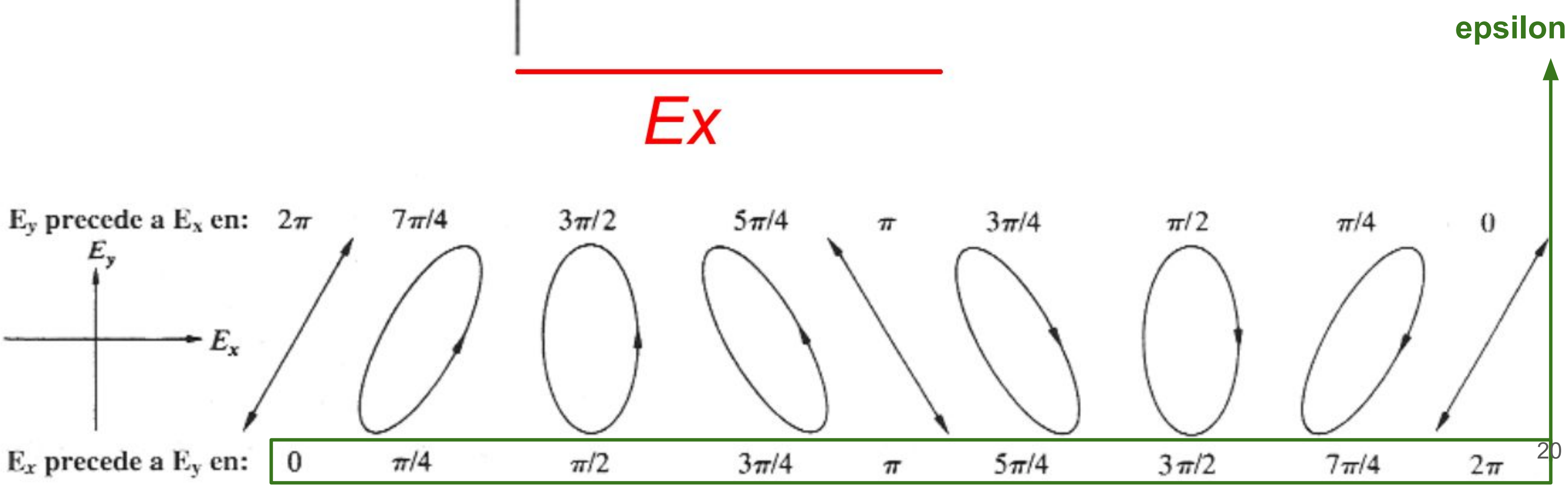
ELÍPTICA (CASO GENERAL, COMPRENDE A LAS OTRAS DOS)

Importante: la elipse puede estar inclinada





$$\tan(\alpha) = \frac{2E_x E_y \cos(\epsilon)}{E_x^2 - E_y^2}$$



Tipos de polarización

LUZ NATURAL

Tren de pulsos breves (10 ns) con polarización aleatoria

Una forma útil: cada pulso está polarizado linealmente y tienen:

- Igual amplitud
- Fase aleatoria (y equiprobable*)
- Ángulo de polarización aleatorio (y equiprobable*)
- (Además no hay correlación entre valores sucesivos de la fase y del ángulo)

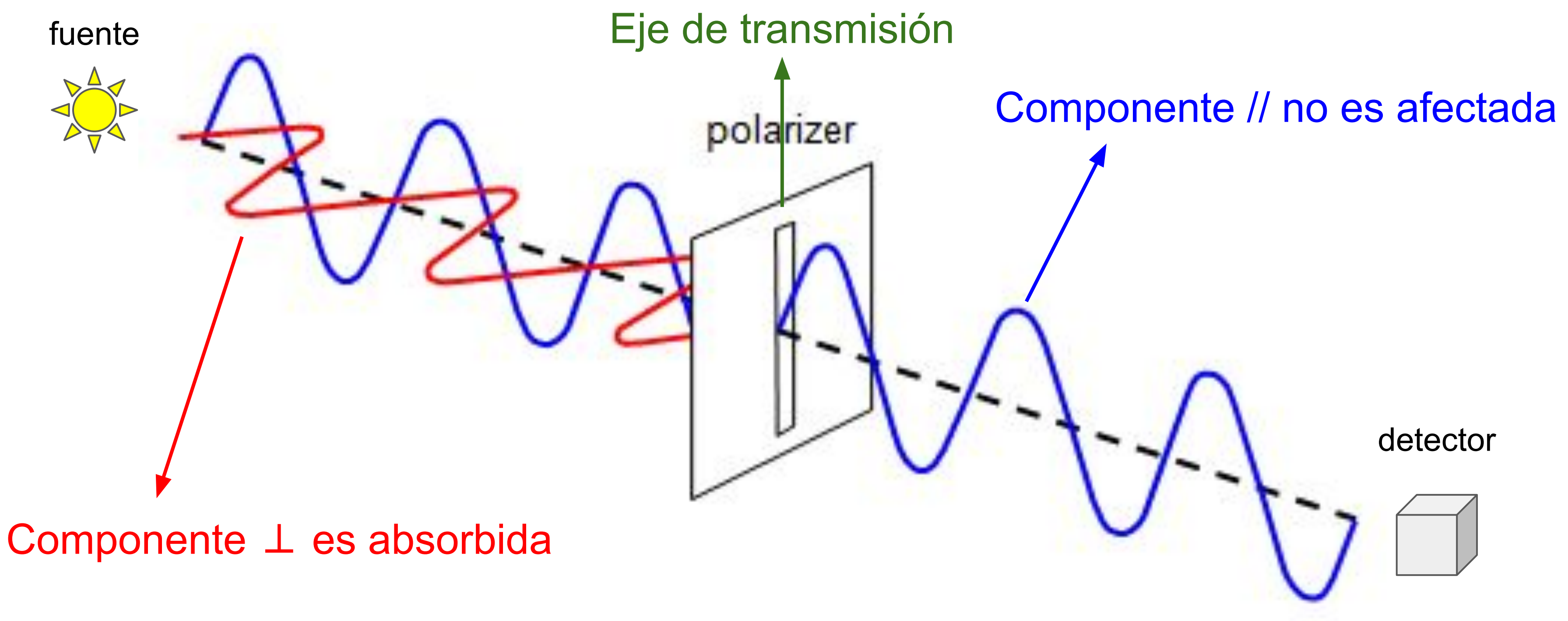
*Equiprobable: que todos los valores posibles aparecen la misma cantidad de veces en una muestra grande. (Aka distribución uniforme)

Después veremos cómo hacer la cuenta...

Dispositivos

POLARIZADOR

Es un dispositivo que solo deja pasar el campo eléctrico a lo largo de una dirección particular: el eje de transmisión



Dispositivos

POLARIZADOR

Hagamos la cuenta. Simplemente debemos hallar la proyección del campo en la dirección del eje de transmisión:

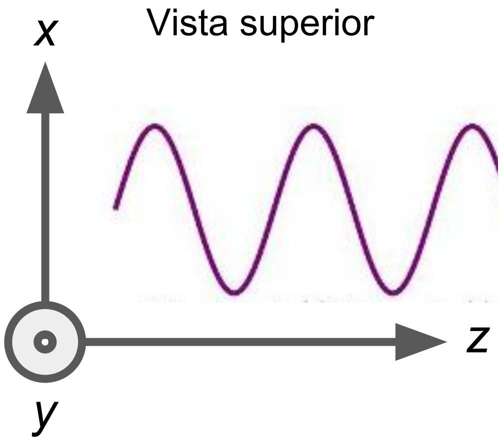
$$\vec{E}_{sale}(z,t) = (\vec{E}_{entra}(z,t) \cdot \hat{t})\hat{t}$$

Eje de transmisión

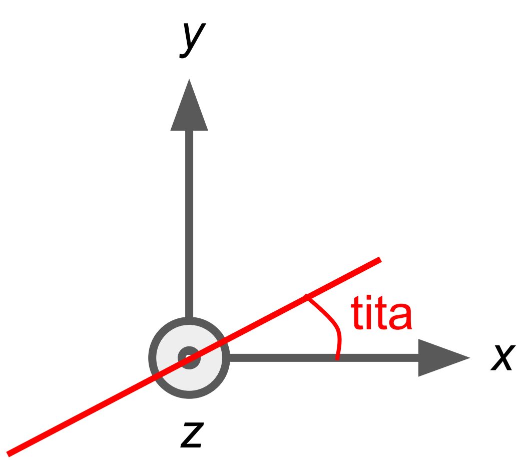
Si E_entra // t ($\forall$ tiempo) => El campo a la salida es el mismo

Si E_entra $\perp$ t ($\forall$ tiempo) => El campo a la salida es nulo (no hay transmisión)

Problema: luz linealmente polarizada en el eje horizontal incide sobre un polarizador. Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador



$$\vec{E}_{entra}(z,t) = E_0 e^{i(kz-\omega t+\epsilon)}\hat{x}$$



$$\hat{t} = \cos(\theta)\hat{x} + \sin(\theta)\hat{y}$$

Problema: luz linealmente polarizada en el eje horizontal incide sobre un polarizador. Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador

$$\vec{E}_{sale}(z,t) = (E_0 e^{i(kz-\omega t+\epsilon)}\hat{x}\cdot(\cos(\theta)\hat{x}+\sin(\theta)\hat{y}))\hat{t}$$
$$= E_0 e^{i(kz-\omega t+\epsilon)}\cos(\theta)\hat{t}$$

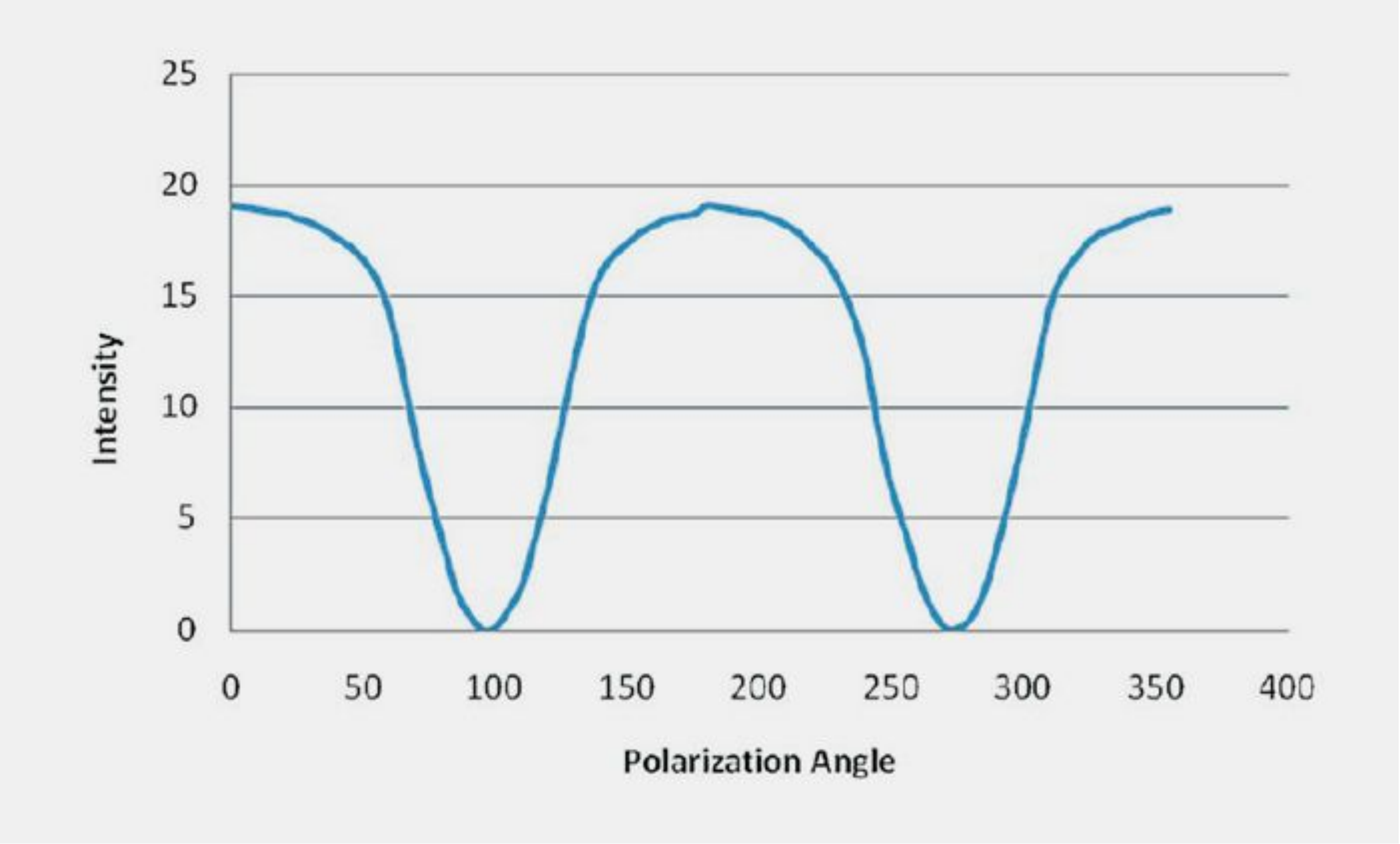
El campo a la salida tiene polarización lineal a lo largo del eje de transmisión del polarizador. La amplitud está disminuida en un factor cos(tita)

Hallemos la intensidad:

$$I_{sale}(\theta) = \vec{E}_{sale}(z,t)\cdot\vec{E}^{*}_{sale}(z,t)$$
$$= E_0 e^{i(kz-\omega t+\epsilon)}\cos(\theta)\hat{t}\cdot E_0 e^{-i(kz-\omega t+\epsilon)}\cos(\theta)\hat{t}$$
$$= E_0^2\cos^2(\theta) = I_0\cos^2(\theta)$$

LEY DE MALUS

$$I_{sale}(\theta) = I_0 \cos^2(\theta)$$



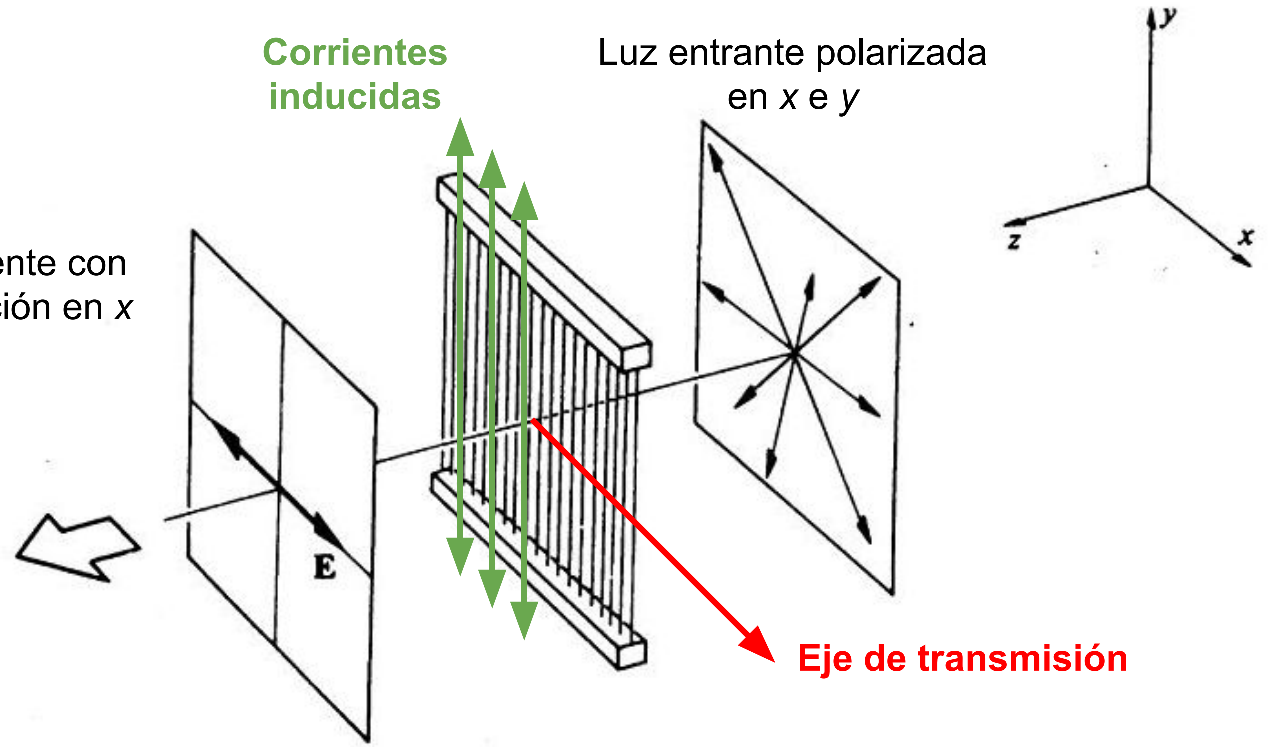
Ley de Malus

- Es válida para luz incidente linealmente polarizada.
- La luz a la salida es linealmente polarizada también.
- El plano de polarización a la salida es paralelo al eje de transmisión del polarizador.
- La intensidad es proporcional al coseno del ángulo entre el plano de polarización de la luz incidente, y el eje de transmisión.
- La expresión hallada es válida para los ejes utilizados.
- Para otros tipos de luz incidente se debe partir de la definición del campo a la salida de un polarizador:

$$\vec{E}_{sale}(z,t) = (\vec{E}_{entra}(z,t) \cdot \hat{t})\hat{t}$$

Cómo funciona un polarizador (dato de color)

ALAMBRES PARALELOS (WIRE GRID)



La luz incidente induce corrientes en la dirección *y*. Dichas corrientes generan un campo eléctrico secundario que cancela (por interferencia) la componente *y* del campo incidente. Como los alambres son verticales, no se puede inducir corriente en *x*, por lo tanto la componente *x* incidente no se ve afectada.

Otra forma de construirlo (mismo concepto): cadenas de polímeros.

Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

ESCRIBAMOS LA LUZ ENTRANTE Y EL ELEMENTO

$$\vec{E}_{entra}(z,t) = (E_0\hat{x} + E_0 e^{\pm i\pi/2}\hat{y}) \cdot e^{i(kz-\omega t)}$$

$$\hat{t} = \cos(\theta)\hat{x} + \sin(\theta)\hat{y}$$

CALCULEMOS EL CAMPO ELÉCTRICO SALIENTE

$$\vec{E}_{sale}(z,t) =$$

$$((E_0\hat{x}+E_0 e^{\pm i\pi/2}\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}\cdot(\cos(\theta)\hat{x}+\sin(\theta)\hat{y}))\hat{t}$$

$$\vec{E}_{sale} = e^{i(kz-\omega t)}(E_0\cos(\theta)+E_0 e^{\pm i\pi/2}\sin(\theta))\hat{t}$$

Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

PARA PENSAR: ¿QUÉ POLARIZACIÓN TIENE LA LUZ SALIENTE?

$$\vec{E}_{sale} = e^{i(kz-\omega t)}(E_0\cos(\theta) + E_0 e^{\pm i\pi/2}\sin(\theta))\hat{t}$$

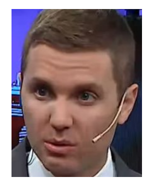
Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

PARA PENSAR: ¿QUÉ POLARIZACIÓN TIENE LA LUZ SALIENTE?

$$\vec{E}_{sale} = e^{i(kz-\omega t)}(E_0\cos(\theta) + E_0 e^{\pm i\pi/2}\sin(\theta))\hat{t}$$

LINEAL



ELÍPTICA

CIRCULAR

TRIANGULAR (!!??)

Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

PARA PENSAR: ¿QUÉ POLARIZACIÓN TIENE LA LUZ SALIENTE?

$$\vec{E}_{sale} = e^{i(kz-\omega t)}\left(\boxed{E_0 \cos(\theta) + E_0 e^{\pm i\pi/2} \sin(\theta)}\right)\hat{t}$$

constante compleja de módulo E_0 y fase θ

Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

PARA PENSAR: ¿QUÉ POLARIZACIÓN TIENE LA LUZ SALIENTE?

$$\vec{E}_{sale} = e^{i(kz-\omega t)}\left(\boxed{E_0\cos(\theta) + E_0 e^{\pm i\pi/2}\sin(\theta)}\right)\hat{t}$$

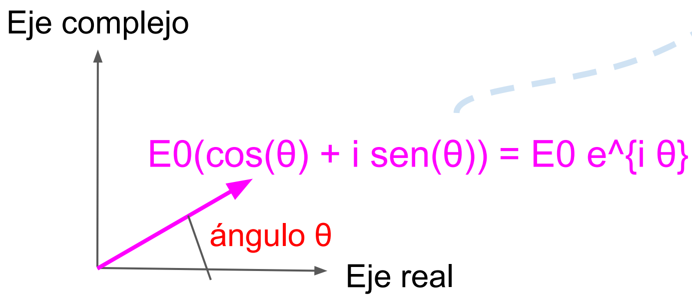
constante compleja de módulo E_0 y fase θ

Veamos:

- e^{i π/2} = i
- e^{-i π/2} = -i

Luego, la parte fucsia es igual a E_0(cos(θ) +/- i sen(θ))

GRÁFICAMENTE (PLANO COMPLEJO):



e^{i θ} es el desfasaje causado por el polarizador. Dicho desfasaje es el mismo para ambas componentes, por lo tanto la luz saliente es lineal. Es decir:

$$E_{sale} = E_0\, e^{i(kz - wt)}\, e^{+/-i\theta}\ t\_versor$$
$$= E_0\, e^{i(kz - wt +/- \theta)}\ t\_versor$$

Cada componente resulta:

x) $E_0\, e^{i(kz - wt\ \mathbf{+/-\ \theta})} \cos(\theta)$

y) $E_0\, e^{i(kz - wt\ \mathbf{+/-\ \theta})} \text{sen}(\theta)$

Donde se ve que cada componente se desfasa en la misma medida. Es decir no hay desfasaje entre x e y.

Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

PARA PENSAR: ¿QUÉ POLARIZACIÓN TIENE LA LUZ SALIENTE?

$$\vec{E}_{sale} = e^{i(kz-\omega t)}\left(\boxed{E_0\cos(\theta) + E_0 e^{\pm i\pi/2}\sin(\theta)}\right)\hat{t}$$

constante compleja de módulo E_0 y fase θ

$$\vec{E}_{sale} = e^{i(kz-\omega t)}E_0 e^{\pm i\theta}\hat{t} = E_0 e^{i(kz-\omega t\pm\theta)}\hat{t}$$

La luz saliente tiene polarización lineal

Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

CALCULEMOS LA INTENSIDAD SALIENTE

$$I_{sale}(\theta) = \vec{E}_{sale} \cdot \vec{E}^*_{sale} = E_0^2 \overbrace{\boxed{e^{i(kz-\omega t)} e^{-i(kz-\omega t)}}}^{=1}$$
$$(\cos(\theta) + e^{\pm i\pi/2} \sin(\theta))(\cos(\theta) + e^{\mp i\pi/2} \sin(\theta)) \underbrace{\boxed{(\hat{t} \cdot \hat{t})}}_{=1}$$

- Coseno × coseno = coseno cuadrado
- Seno × seno = seno cuadrado (los coeficientes complejos son conjugados, dan 1)
- Seno × coseno = dos términos, uno con cada coeficiente complejo conjugado

$$I_{sale}(\theta) = E_0^2 (\overbrace{\boxed{\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)}}^{=1} + \overbrace{\boxed{(e^{\mp i\pi/2} + e^{\pm i\pi/2})}}^{=0} \sin(\theta) \cos(\theta))$$

$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$$ = 0 para x = pi/2

$$I_{sale}(\theta) = E_0^2$$

¡No depende de tita! Pero...
¿por qué...?

Polarizadores y otros tipos de luz

Problema: Hallar la intensidad en función de la posición del polarizador para luz incidente circularmente polarizada

CALCULEMOS LA INTENSIDAD ENTRANTE

$$I_{entra}(\theta) = \vec{E}_{entra} \cdot \vec{E}^*_{entra}$$

$$\vec{E}_{entra}(z,t) = E_0(\hat{x} + e^{\pm\pi/2}\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$$

$$I_{entra} = E_0^2(\underbrace{\boxed{\hat{x}\cdot\hat{x}}}_{=1} + \underbrace{\boxed{e^{\pm i\pi/2}e^{\mp i\pi/2}}}_{=1}(\underbrace{\boxed{\hat{y}\cdot\hat{y}}}_{=1})) \cdot 1 = 2E_0^2$$

Y como: $$I_{sale} = E_0^2$$

Resulta: $$I_{sale} = I_{entra}/2$$

Pasando en limpio

- Luz CP incidente en un polarizador no cumple la ley de Malus.
- La intensidad a la salida es independiente de la posición del polarizador.
- La pérdida de energía es la mitad.
- La luz saliente es LP paralela al eje de transmisión.
- Podemos diferenciar luz LP de CP usando un polarizador en diferentes posiciones. Si se verifica Malus es LP.
- Si no se verifica…
- … podría ser luz natural. **¿Por qué?**

Pasando en limpio

- Luz CP incidente en un polarizador no cumple la ley de Malus.
- La intensidad a la salida es independiente de la posición del polarizador.
- La pérdida de energía es la mitad.
- La luz saliente es LP paralela al eje de transmisión.
- Podemos diferenciar luz LP de CP usando un polarizador en diferentes posiciones. Si se verifica Malus es LP.
- Si no se verifica…
- … podría ser luz natural. **¿Por qué?**

Dijimos que la luz natural era una serie de pulsos breves (10 ns) con fases aleatorias (incoherentes) y linealmente polarizados. Cada pulso tiene un ángulo de polarización distinto que el anterior… En un tiempo largo, veremos luz LP incidiendo con todos los ángulos de polarización entre 0 y 2pi, y ningún ángulo será observado más veces que los otros.

Lo mismo ocurre con la luz CP, la diferencia es que el ángulo es función del tiempo.

Vectores y matrices de Jones

L $$E_0(\cos(\theta)\hat{x} + \sin(\theta)\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$$

C $$E_0(\hat{x} + e^{\pm i\pi/2}\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$$

E $$E_0(\cos(\theta)\hat{x} + \sin(\theta)e^{i\epsilon}\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$$

Queremos escribir cada estado como un vector de columna conteniendo sólo la información básica para describir cada estado.

El factor E_0 y el factor propagante son comunes a las tres.

Solo se distinguen por la parte vectorial de cada expresión => Vector de Jones

Luz	Campo E	Vector de J
L	$E_0(\cos(\theta)\hat{x} + \sin(\theta)\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$	$\begin{bmatrix}\cos(\theta)\\ \sin(\theta)\end{bmatrix}$
CD	$E_0(\hat{x} + e^{-i\pi/2}\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$	$\begin{bmatrix}1\\ e^{-i\pi/2}\end{bmatrix}$
CI	$E_0(\hat{x} + e^{i\pi/2}\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$	$\begin{bmatrix}1\\ e^{i\pi/2}\end{bmatrix}$
E	$E_0(\cos(\theta)\hat{x} + \sin(\theta)e^{i\epsilon}\hat{y})e^{i(kz-\omega t)}$	$\begin{bmatrix}\cos(\theta)\\ \sin(\theta)e^{i\epsilon}\end{bmatrix}$

Elemento	Matriz de J
Polarizador eje t horizontal	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$
Polarizador eje t vertical	$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
Polarizador eje t a ±45º	$\frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & 1 \end{pmatrix}$
Polarizador genérico	$P_\theta = \begin{pmatrix} \cos^2(\theta) & \sin(\theta)\cos(\theta) \\ \sin(\theta)\cos(\theta) & \sin^2(\theta) \end{pmatrix}$

Polarizador genérico

$$P_\theta = \begin{pmatrix} \cos^2(\theta) & \sin(\theta)\cos(\theta) \\ \sin(\theta)\cos(\theta) & \sin^2(\theta) \end{pmatrix}$$

Si tita = 0º

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Si tita = 90º

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Si tita = ±45º

$$\frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Cómo se usan

Luz LP <u>horizontal</u> atraviesa un polarizador colocado en una posición arbitraria

$$\begin{pmatrix} \cos^2(\theta) & \sin(\theta)\cos(\theta) \\ \sin(\theta)\cos(\theta) & \sin^2(\theta) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \cos(\theta) \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix}$$

Para obtener el campo agregamos los factores E_0 y el propagante:

$$\vec{E}_{sale} = E_0 e^{i(kz-\omega t)} \cos(\theta) \boxed{\begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix}}$$

= t versor

Es exactamente la misma expresión del campo que obtuvimos antes haciendo la proyección “a mano”!!

Cómo se usan

Luz CP atraviesa un polarizador colocado en una posición arbitraria

$$\begin{pmatrix} \cos^2(\theta) & \sin(\theta)\cos(\theta) \\ \sin(\theta)\cos(\theta) & \sin^2(\theta) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ e^{\pm i\pi/2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos^2(\theta) + \sin(\theta)\cos(\theta)e^{\pm i\pi/2} \\ \sin(\theta)\cos(\theta) + \sin^2(\theta)e^{\pm i\pi/2} \end{bmatrix}$$

Para obtener el campo agregamos los factores E_0 y el propagante:

$$E_0 \begin{bmatrix} \cos^2(\theta) + \sin(\theta)\cos(\theta)e^{\pm i\pi/2} \\ \sin(\theta)\cos(\theta) + \sin^2(\theta)e^{\pm i\pi/2} \end{bmatrix} e^{i(kz-\omega t)}$$

¿Qué polarización tiene esto? Parece difícil de ver...

Vamos a sacar factor común en cada componente del vector por separado:

$$E_0 \begin{bmatrix} \cos^2(\theta) + \sin(\theta)\cos(\theta)e^{\pm i\pi/2} \\ \sin(\theta)\cos(\theta) + \sin^2(\theta)e^{\pm i\pi/2} \end{bmatrix} e^{i(kz-\omega t)}$$

$$E_0 \begin{bmatrix} \cos(\theta)\cdot(\cos(\theta) + \sin(\theta)e^{\pm i\pi/2}) \\ \sin(\theta)\cdot(\cos(\theta) + \sin(\theta)e^{\pm i\pi/2}) \end{bmatrix} e^{i(kz-\omega t)}$$

Ahora vemos que podemos sacar factor común para todo el vector:

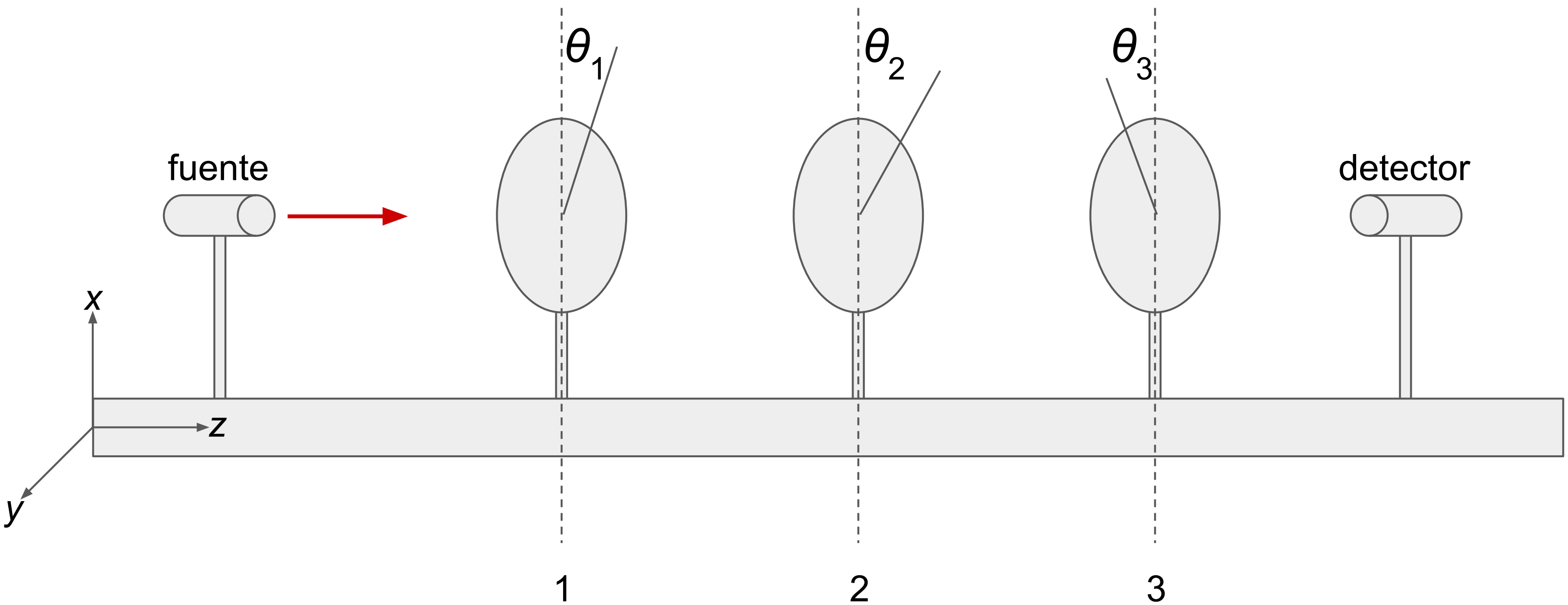
$$E_0(\cos(\theta) + \sin(\theta)\underbrace{\boxed{e^{\pm i\pi/2}}}_{= +/- i})\underbrace{\boxed{\begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{bmatrix}}}_{= t \text{ versor}} e^{i(kz-\omega t)}$$

Nuevamente, obtuvimos exactamente la misma expresión del campo que cuando hicimos la proyección “a mano”!!

Elemento	Matriz de J
Lámina λ/4, eje rápido V	$e^{i\pi/4}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}$
Lámina λ/4, eje rápido H	$e^{-i\pi/4}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$
Lámina λ/2, eje rápido V	$e^{i\pi/2}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$
Lámina λ/2, eje rápido H	$e^{-i\pi/2}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$

Elemento	Matriz de J
Lámina onda entera	$$e^{\pm i\pi}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$ **Es la identidad! Por qué?**
Lámina λ/4, eje rápido tita	$$e^{-i\pi/4}\begin{pmatrix} \cos^2\theta + i\sin^2\theta & (1-i)\sin\theta\cos\theta \\ (1-i)\sin\theta\cos\theta & \sin^2\theta + i\cos^2\theta \end{pmatrix}$$
Lámina λ/2, eje rápido tita	$$e^{-i\pi/2}\begin{pmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{pmatrix}$$

Cómo se usan



$$\text{Luz detectada} = M_3(\theta_3) \times M_2(\theta_2) \times M_1(\theta_1) \times (\text{Luz entrante})$$

vector

matrices

vector

Fin