

## EXPERIMENTO 13

### ÓPTICA I : POLARIZACIÓN

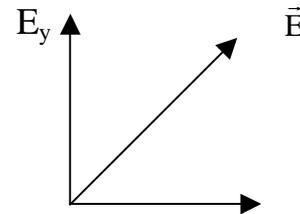
#### 1. Objetivos

Generar diferentes estados de polarización de un haz de luz, por diferentes métodos, y estudiar experimentalmente el comportamiento de la luz polarizada resultante.

#### 2. Bases teóricas

Comenzamos aquí nuestro estudio de ondas electromagnéticas de longitud de onda de algunos micrones, más precisamente en el rango de  $0,39 \mu$  ( $3900 \text{ \AA}$ ) a  $0,76 \mu$  ( $7600 \text{ \AA}$ ). Este es el rango del espectro "visible", en el que la radiación se denomina "luz". Como ya sabemos, ver Experimento 9, toda onda electromagnética es transversal, es decir  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$  oscilan en un plano perpendicular a la dirección de propagación. Para todo lo que veremos aquí, solo necesitamos considerar el campo eléctrico  $\vec{E}$ .

Como cualquier vector en un plano, el campo eléctrico podrá ser determinado por sus dos componentes  $E_x$ ,  $E_y$  respecto de dos vectores unitarios perpendiculares  $\hat{x}$  e  $\hat{y}$  (ver figura 1).



Cualquier tipo de oscilación de  $\vec{E}$  podrá expresarse en términos de oscilaciones independientes de  $E_x$  y  $E_y$ , cada una con sus correspondientes amplitud y fase. Cuando estas componentes oscilan sin mantener una relación fija entre ellas se dice que tenemos luz no polarizada.

Una relación específica entre las amplitudes y las fases de las dos componentes, constituye un estado de polarización. Los ejemplos más comunes de estados de polarización son; polarización lineal y polarización circular.

#### 2.1 Polarización lineal

Supongamos que  $E_x$  y  $E_y$  oscilan en fase

$$E_x = A_1 \cos(\omega t) \quad ; \quad E_y = A_2 \cos(\omega t)$$

de tal manera que

$$\vec{E}(t) = \hat{x} A_1 \cos(\omega t) + \hat{y} A_2 \cos(\omega t)$$

$$\vec{E}(t) = (\hat{x} A_1 + \hat{y} A_2) \cos(\omega t)$$

Es decir,  $\vec{E}$  oscila en la dirección del vector fijo  $A_1 \hat{x} + A_2 \hat{y}$  con amplitud  $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2}$

## 2.2 Polarización Circular

Supongamos ahora que la oscilación de  $E_y$  está retrasada  $\pi/2$  respecto de la  $E_x$  y que ambas componentes tienen amplitud  $A$ . Entonces:

$$\vec{E}(t) = \hat{x} A \cos(\omega t) + \hat{y} A \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$\vec{E}(t) = \hat{x} A \cos(\omega t) + \hat{y} A \sin(\omega t)$$

Es decir,  $\vec{E}(t)$  gira sobre un círculo en el sentido de  $z$  (fig. 2a). Muestre como ejercicio, que si la componente  $E_y$  está adelantada  $\pi/2$  respecto de  $E_x$ , tenemos polarización circular en el sentido  $-\hat{z}$  (fig. 2b)

Figura 2 a

Figura 2b

Existen infinitos estados de polarización, la fig. 3 muestra algunos de ellos, para  $E_y=2E_x$  y diferentes valores de la diferencia de fase  $\phi_1-\phi_2$  entre la componente  $\hat{x}$  y la componente  $\hat{y}$

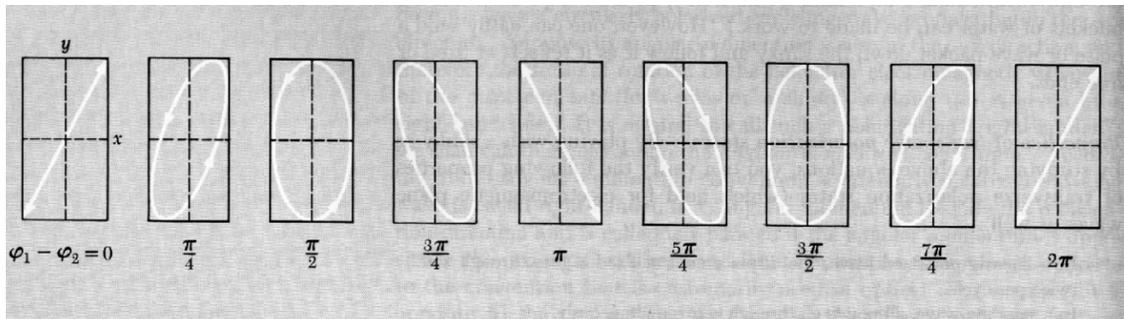


Figura 3

¿Cómo podemos obtener experimentalmente distintos estados de polarización con un haz de luz no polarizada?

Para el caso de las microondas vimos que era sencillo obtener una onda linealmente polarizada: basta una pequeña antena lineal. Para el caso de la luz, las "antenas" son los electrones en los átomos, así que una polarización por emisión selectiva sería muy difícil de lograr.

Otra forma de lograr una polarización lineal en el caso de las microondas, sería través de una red de alambres altamente conductores (fig. 4). La componente de  $\vec{E}$  perpendicular a los alambres no sería afectada, mientras que la componente paralela a ellos, por un lado pierde energía por realizar un trabajo sobre los electrones de los alambres que se convierte parcialmente en calor (por la resistencia de los alambres), y por otro lado sufre una interferencia destructiva en la dirección hacia delante por las ondas emitidas por los electrones en los alambres. Así la componente paralela a los alambres es eliminada.

Un efecto similar ocurre para la luz que atraviesa un a substancia "polaroid". Un polaroid es un film plástico con largas cadenas moleculares de hidrocarbano alineados en una dirección, impregnados en una solución de yodo. Los átomos de yodo se adhieren a las cadenas de hidrocarbano y proveen electrones de conducción, igual que en la red de alambres. Con esto, se logra anular las componentes de  $\vec{E}$  paralelas a la dirección de las cadenas moleculares.

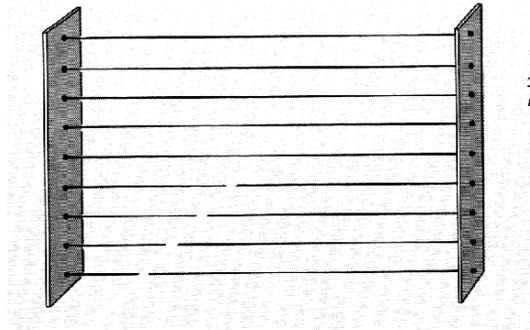


Figura 4

Para un polarizador lineal "perfecto" (que en realidad no existe), por una simple consideración geométrica debería cumplirse que la intensidad saliente  $I_{out}$  esta relacionada con la intensidad incidente  $I_{in}$  a través de (ver Fig. 5)

$$I_{out} = I_{in} \cos^2 \theta$$

que se conoce como ley de Malus.

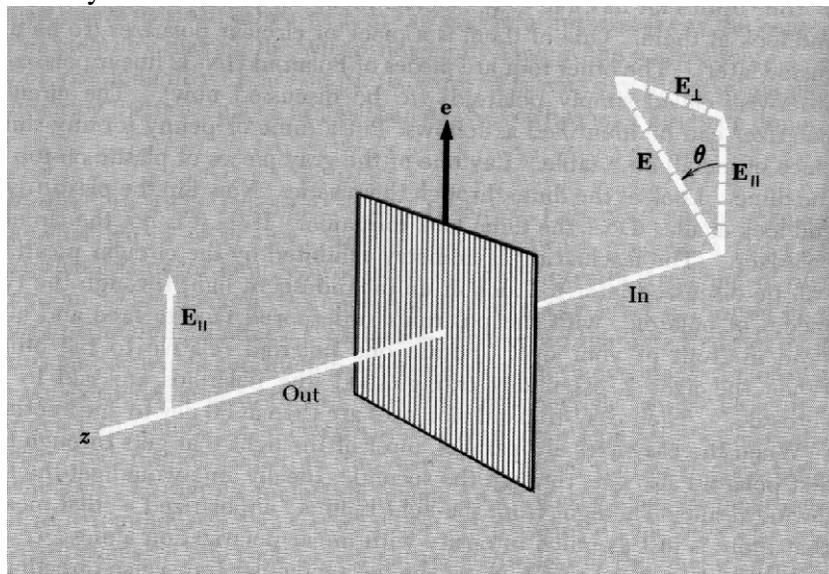


Figura 5

Ya sabemos como funciona un polarizador lineal . Ahora , como funciona un polarizador circular ? La idea es que necesitaríamos una sustancia "birrefringente", es decir un material que tenga un índice de refracción distinto par dos direcciones distintas. Como el índice de refracción de una substancia es la relación entre la velocidad de fase en ese material y la velocidad de fase en el vacío, si además esa sustancia es transparente el único efecto que tendría sobre la luz que atravesase un espesor finito de la misma sería el de retrasar la fase de una componente de E respecto de la otra produciendo así una polarización elíptica en general ( o circular si el retraso es justamente  $\pi/2$  y si las amplitudes  $E_x$  y  $E_y$  son iguales).

Esas sustancias son muy comunes y son una gran variedad de plásticos "estirados". Un plástico, por ejemplo celofán, esta compuesto por "polímeros" (cadenas largas de distintos tipos

de moléculas orgánicas). Estos polímeros forman normalmente una estructura tipo "espaguetis" (cualquiera que haya comido un plato de espaguetis ha visto como éstos están enrollados unos con otros). Si tal material es estirado en una dirección, los polímeros se enderezan parcialmente en esa dirección, la distribución de cargas electrónicas en las moléculas cambia en la misma dirección y con ellas la constante dieléctrica. Por lo tanto tendremos una constante dieléctrica diferente en la dirección del estiramiento que en dirección perpendicular y por ende un índice de refracción  $n$  diferente ( $n = \sqrt{\mu\epsilon}$ ,  $\epsilon =$  constante dieléctrica y  $\mu$  permeabilidad magnética del medio).

Finalmente, vemos otro método muy común de producir una polarización lineal, mediante reflexión. Consideremos el esquema de la fig. 6, donde tenemos luz incidente sobre un vidrio.

Aquí se produce reflexión y refracción. Para la refracción:  $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$  mientras que para la reflexión  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ . Así, variando el ángulo de incidencia, podemos lograr un ángulo  $\theta_1$  para el cual el rayo reflejado y el refractado sean perpendiculares

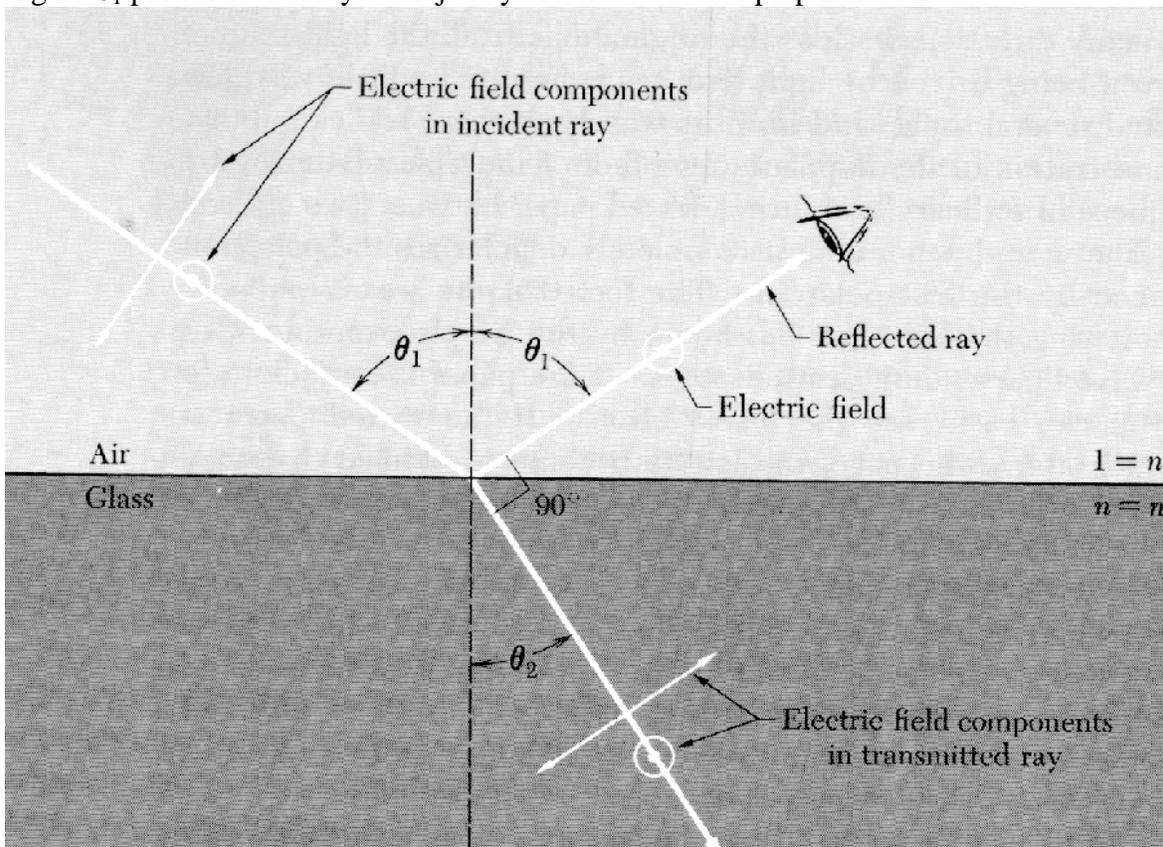


Figura 6

Justo para ese ángulo llamado "ángulo de Brewster", la onda reflejada es originada por los electrones del vidrio que oscilan en la dirección perpendicular al plano de incidencia solamente, por lo tanto ésta estará linealmente polarizada.

### 3. Procedimiento

Usaremos un banco y un laser como fuente de luz puntual y monocromática.

#### 3.1 Polarización lineal

- i) Hacer pasar el haz del láser por un polarizador lineal, rotándolo y observando la variación de intensidad. ¿Está la luz del láser polarizada? Usando un fotómetro, verificar si hay variación de la intensidad con el tiempo. (Nota: la polarización del láser varía levemente con la temperatura.)
- ii) Colocar un segundo polarizador lineal sobre el soporte rotatorio. Ajustar el primer polarizador de modo que el eje  $0^\circ$ - $180^\circ$  esté vertical. Observar la imagen sobre una pantalla a medida que se gira el segundo polarizador.
- iii) Usando un fotómetro en lugar de la pantalla medir la intensidad transmitida en función del ángulo entre los dos polarizadores. ¿Qué ley se encuentra?
- iv) Poner los dos polarizadores perpendiculares entre sí, no debería pasar luz. Luego insertar un tercer polarizador entre los dos y rotarlo. ¿Qué se observa? ¿Por qué?

#### 3.2 Polarización circular

- i) En un soporte montar un polarizador lineal y un retardador de  $\pi/2$ , hacer pasar la luz del láser a través del conjunto incidiendo del lado del polarizador lineal. Usar un segundo polarizador y la pantalla para determinar si la luz resultante está polarizada o no.
- ii) Colocar un espejo y reflejar el haz para que pase a través del conjunto polarizador-retardador en sentido inverso y mirar la imagen sobre el frente del láser. Rotar el retardador y observar lo que ocurre. ¿Puede explicar lo que sucede? ( Ayuda: en la reflexión, una polarización circular  $+\hat{z}$  se convierte en  $-\hat{z}$ ).

#### 3.3 Ángulo de Brewster

- i) Diseñe usted mismo el experimento para medir el ángulo de Brewster para un dado medio y verificar el plano y dirección de polarización de la luz reflejada.