

## Práctica 9

# DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE MATERIALES TRANSPARENTES

### 1. Objetivos docentes

Familiarizarse con las propiedades ópticas de refracción y reflexión de materiales transparentes.

### 2. Objetivo del trabajo práctico

Determinar el índice de refracción de un vidrio y un plástico transparentes empleando la Ley de Snell y el ángulo crítico de reflexión total.

### 3. Fundamento teórico

Las propiedades ópticas son la respuesta que presentan los materiales al recibir la luz. Llamamos luz al conjunto de ondas electromagnéticas cuya frecuencia está comprendida entre 400 y 700 nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) a las cuales es sensible el ojo humano. Por tanto podemos aplicar para su estudio la teoría electromagnética (ecuaciones de Maxwell). Esta teoría es correcta al describir la propagación de la luz pero falla al intentar explicar su interacción con los materiales. Por tanto, la descripción de la luz presenta una naturaleza dual y se tratará como onda o partícula (el fotón) según el fenómeno que se observe.

Debido a la interacción de los fotones con los átomos que forman los sólidos, cuando un haz de luz de intensidad  $I_0$ , incide sobre un material voluminoso parte del haz es absorbido ( $I_A$ ), parte es reflejado en su superficie ( $I_R$ ), ya sea de forma especular o difusa, y otra parte es transmitido ( $I_T$ ) si consigue atravesar todo el espesor del material, cumpliéndose:

$$I_0 = I_A + I_R + I_T$$

La absorbancia ( $A = I_A/I_0$ ), la reflectancia ( $R = I_R/I_0$ ), y la transmitancia ( $T = I_T/I_0$ ), son tres parámetros que caracterizan las propiedades ópticas de los materiales. Según sea su transmitancia, los materiales se clasifican en **opacos** si no dejan pasar la luz ( $T=0$ , por ejemplo un trozo de papel negro), **traslúcidos** si la dejan pasar parcialmente (un vidrio esmerilado con una superficie muy rugosa) o **transparentes** cuando dejan pasar toda la luz que les llega ( $T=1$ , vidrio de superficie lisa). Los metales, al ser conductores eléctricos, son opacos a la luz visible aunque son transparentes a radiaciones de alta frecuencia (rayos X y  $\gamma$ ).

Los materiales que no conducen la electricidad (los dieléctricos como la gran mayoría de los polímeros y los cerámicos) son transparentes a la luz visible, pero si su microestructura contiene una gran cantidad de interfases (materiales policristalinos y porosos) o su superficie es muy rugosa, se vuelven translúcidos. Por tanto, los materiales transparentes son polímeros y cerámicos con estructura amorfa o en forma de monocristal (libre de interfases y bordes de grano) y con superficies pulidas para minimizar las pérdidas por reflexión.

La Óptica Geométrica es una aproximación muy sencilla que permite estudiar las propiedades ópticas de los materiales utilizando el concepto de **rayo**, que no es más que una línea imaginaria que señala la dirección de propagación de los frentes de ondas de la luz en un medio (agua, aire, ...) o en el seno de los materiales. Esta aproximación es válida cuando la **longitud de onda** de la luz,  $\lambda$ , es mucho menor que las dimensiones de los objetos con los que la luz se encuentra en su camino.

La trayectoria de un haz de luz láser es un ejemplo de rayo. La luz cuando se propaga en el vacío lo hace a velocidad constante y de forma rectilínea, sin perturbaciones, pero cuando llega a un material la velocidad de la luz cambia debido a su interacción con el sólido. El **índice de refracción** es un parámetro óptico característico de cada material homogéneo que se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío,  $c$ , y la velocidad de la luz en el material,  $v_i$ :

$$n_i = \frac{c}{v_i}$$

Además, la velocidad de propagación de la luz dentro del material depende de la dirección cristalográfica en la que se propague el haz, de forma que si la estructura no tienen simetría cúbica las propiedades ópticas son anisótropas, es decir, dependen de la dirección en la que se midan.

Al atravesar cualquier interfase (la superficie externa del material, la superficie interna de los poros, y también en los bordes de grano) el haz de luz sufre absorción y reflexión, y el haz transmitido sufre **refracción**, es decir, se produce un cambio de la dirección de propagación del rayo como consecuencia de la variación de la velocidad de la onda.

Las leyes de la Óptica Geométrica permiten estudiar estos fenómenos de interacción de la luz con los materiales de forma muy sencilla:

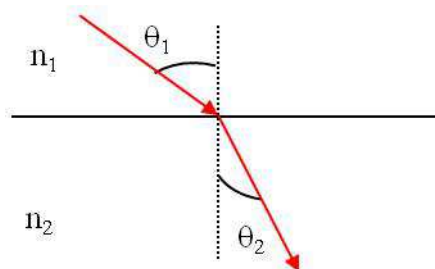
- 1.- **Ley de la propagación rectilínea**: en un medio homogéneo, los rayos de luz se propagan en línea recta.
- 2.- **Ley de la reflexión**: una onda que incide sobre la superficie de separación entre dos medios se refleja (parcialmente), es decir, se generan nuevas ondas que se alejan de dicha superficie. El rayo incidente y la normal a la superficie determinan el plano de incidencia.

Ambas líneas forman el denominado **ángulo de incidencia**. El **rayo reflejado** está también contenido en ese plano y forma con la normal el mismo ángulo que el rayo incidente:

$$\text{ángulo de incidencia} = \text{ángulo de reflexión}$$

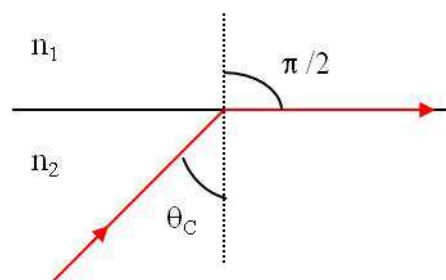
3.- **Ley de la refracción**: cuando una onda incide sobre la superficie de separación entre dos medios, parte de la energía se refleja y parte entra en el segundo medio. El rayo transmitido está contenido en el plano de incidencia pero cambia de dirección (**rayo refractado**) formando un ángulo con la normal a la superficie, dado por la **Ley de Snell**:

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$$



Donde  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción de los medios 1 y 2.

Según la Ley de Snell, cuando el rayo pasa a un medio con menor índice de refracción se aleja de la normal, es decir, el ángulo de refracción es mayor que el de incidencia. El valor máximo que puede tomar el seno es 1, por lo que hay un ángulo de incidencia límite tal que para ángulos mayores la refracción no se produce:

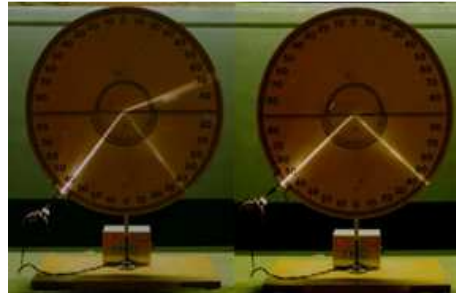


$$n_2 \text{sen} \theta_c = n_1 \text{sen} \left( \frac{\pi}{2} \right)$$

Ese **ángulo de incidencia límite** se denomina **ángulo crítico**  $\theta_c$ :

$$\text{sen} \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Para ángulos mayores que este ángulo crítico no existe rayo refractado, toda la energía de la onda se refleja. Este fenómeno se denomina **reflexión total interna** (ver figura).



Una aplicación interesante de la reflexión total es la propagación de la luz en fibras ópticas: el haz de luz se propaga por el interior de una fibra de vidrio transparente, delgada y larga, debido a que la luz incide sobre las paredes internas de la fibra con un ángulo superior al crítico sin que escape nada por refracción.

La fibra óptica es un componente básico en optoelectrónica y en general es un instrumento muy flexible que permite llevar la luz a cualquier sitio, como por ejemplo al interior del cuerpo humano en aplicaciones médicas.

#### 4. Material e instrumental necesarios

Dispositivo Láser

Pantalla

Transportador de ángulos

Regla para el trazado de rayos

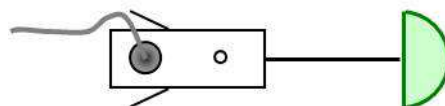
Bloques semicirculares de distintos materiales transparentes (plástico y vidrio)

#### 5. Protocolo para la realización práctica

**La trayectoria del rayo láser nunca debe ser observada mirando directamente a la fuente láser en la dirección en que se propaga el rayo, ni directamente a ninguno de los rayos desviados. Los elementos ópticos deben cogerse siempre con cuidado, para evitar manchas o rayas en las caras.**

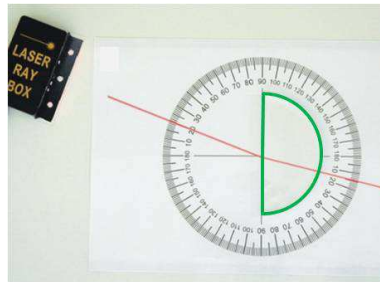
##### 1. Determinación del índice de refracción utilizando la Ley de Snell

Coloca el bloque semicircular de plástico enfrente del láser en la posición que se indica en la figura y comprueba que si el rayo incide perpendicularmente sobre el centro del bloque semicircular, éste atraviesa el material y se proyecta en la pantalla sin que se produzca desviación.



Como el ángulo de incidencia,  $\theta_1$ , es cero, el de refracción,  $\theta_2$ , también tiene que ser cero para que se cumpla la Ley de Snell.

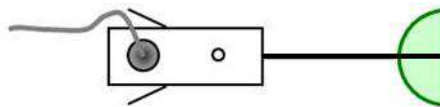
Manteniendo el mismo punto de incidencia, varía el ángulo de incidencia 5 grados utilizando un transportador de ángulos y mide el ángulo de refracción con el transportador de ángulos o con ayuda de la pantalla.



Repite el procedimiento, variando el ángulo de incidencia de 5 en 5 grados hasta que tengas al menos 6 valores. Anota en tu cuaderno lo que observas que le va sucediendo al ángulo refractado o documéntalo con imágenes.

## 2. Determinación del índice de refracción por reflexión total interna

Coloca ahora el bloque semicircular de la forma indicada en la figura:



Gira el bloque hasta que desaparezca el rayo refractado y anota el ángulo de incidencia límite obtenido. Vuelve a la posición inicial y repite el experimento determinando de nuevo el ángulo de incidencia tantas veces como sea necesario para determinar con la mayor fiabilidad posible el ángulo crítico, aplicando la Teoría de Medidas.

Repite los pasos 1 y 2 cambiando el bloque semicircular de plástico por el de vidrio.

## 6. Ejercicios y Cuestiones

- i. Presenta en una tabla de datos los ángulos de incidencia y los ángulos de refracción medidos en el apartado 1 y el seno de cada uno de ellos, para cada material empleado.
- ii. Representa gráficamente el seno del ángulo de refracción frente al seno del ángulo de incidencia y determina el índice de refracción de cada uno de los materiales empleados, aplicando la Ley de Snell y el método de Mínimos Cuadrados.

- iii. En el ajuste lineal de los datos del apartado 1, el valor de la ordenada en el origen debería ser cero en vista de la ecuación de la Ley de Snell. ¿Qué valor obtienes? ¿Qué te sugiere esa diferencia?
- iv. Con el índice de refracción calculado, determina el ángulo crítico teórico (junto a su error) y compáralo con el obtenido experimentalmente en el apartado 2.
- v. Presenta en una tabla los datos de  $\theta_c$  medidos en el apartado 2 y determina el índice de refracción de cada material (junto a su error) por reflexión total interna.
- vi. Compara el índice de refracción obtenido por los dos métodos y valora cuál de ellos es más fiable.
- vii. Busca en bibliografía los datos de los índices de refracción de los materiales que se han empleado y compáralos con tus resultados experimentales.