

XXIV OLIMPIADA NACIONAL DE FÍSICA
Durango 17-21 de noviembre de 2013
Prueba experimental



Indice de refracción del vidrio por el método de Pfund

(20 puntos)

El índice de refracción es el causante de que la luz se *refracte* al pasar por un material transparente, es decir, que los rayos de luz se desvíen con respecto al ángulo al que entran al material.

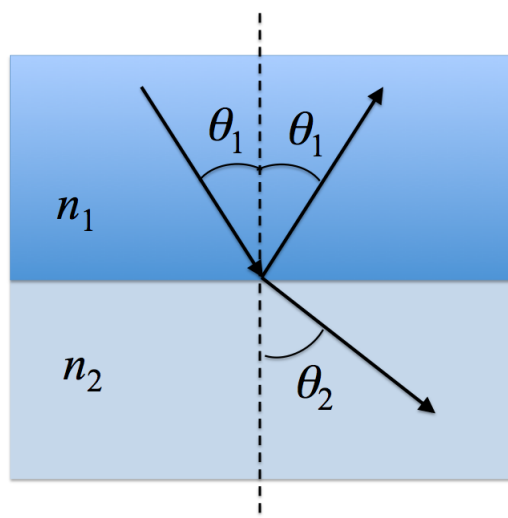


Figura 1: Ley de Snell

En la figura 1 se muestra dicho fenómeno al pasar un rayo de luz de un material (1) a otro material (2). Sean n_1 y n_2 a los índices de refracción de dichos materiales. Llamemos θ_1 al ángulo que hace el rayo incidente con respecto a la vertical en el material (1). A llegar al medio (2) parte de la luz se *refleja* con el mismo ángulo θ_1 , pero la parte que se trasmite al medio (2) se *refracta*, es decir, cambia su dirección al ángulo θ_2 , medido con respecto a la vertical. Estos ángulos están relacionados entre sí por la Ley de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Note que θ_1 es mayor o menor que θ_2 dependiendo si n_1 es menor o mayor a n_2 . Existe un caso muy importante que es cuando $n_1 > n_2$ y la luz pasa de (1) a (2). Por la Ley de Snell hallamos que existe un ángulo crítico de incidencia $\theta_1 = \theta_c$ tal que $\theta_2 = \pi/2$. El ángulo crítico sólo depende n_1 y n_2 :

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

Por lo tanto, si el ángulo de incidencia θ_1 es mayor que el crítico $\theta_1 > \theta_c$, la luz *sólo* se refleja en el medio (1) y nada se transmite. A este fenómeno se le llama *reflexión total interna*

En este problema determinaremos el índice de refracción del vidrio usando el concepto de la reflexión total interna.

MATERIAL

1. Una fuente de luz láser (rojo). CUIDADO! No vea directamente al láser!
2. Cuatro (4) placas de vidrio de diferente grosor. Llame (I), (II), (III) y (IV) a los vidrios en orden ascendente de grosor, es decir, (I) es el más delgado y (IV) el más grueso.
3. Un recipiente de plástico.
4. Una botella de agua.
5. Servilletas de papel.
6. Hojas milimétricas.
7. Regla y vernier.
8. Lápices, borrador y goma.

PREPARACION

Antes de iniciar las mediciones es importante familiarizarse con el fenómeno.

Primero, coloque una hoja de papel milimétrico en su mesa. Prenda el láser y hágalo incidir verticalmente sobre la hoja desde unos 15 a 20 cm de altura. El láser produce una “mancha” roja, llamada *spot*, sobre el papel. El ancho del spot es de unos cuantos milímetros. Note que usted puede ver el spot desde cualquier ángulo de observación. Esto se debe a que el papel tiene una gran cantidad de rugosidades pequeñas que, aunque no son visibles para nosotros, sí son suficientes para dispersar la luz en todas direcciones, y por eso podemos ver el spot desde cualquier ángulo. Esta explicación se aplica a cualquier superficie iluminada, ya sea por un láser, una lámpara o cualquier fuente de luz: es la dispersión por la superficie en todas direcciones, de la luz incidente, la que permite su observación.

Ahora coloque un vidrio encima del papel milimétrico y haga incidir el láser sobre la superficie del vidrio. Observará, además del spot, una mancha circular roja más grande que el spot, pero menos intensa. Vea la Figura 2. Repita este procedimiento con las cuatro placas de vidrio. El diámetro D de la mancha grande depende del grosor H de la placa de vidrio. En algunos casos podrá observar otra u otras manchas más grandes, pero más tenues. *Sugerencia para el problema:* la mancha que usted se ve, se forma en el papel.

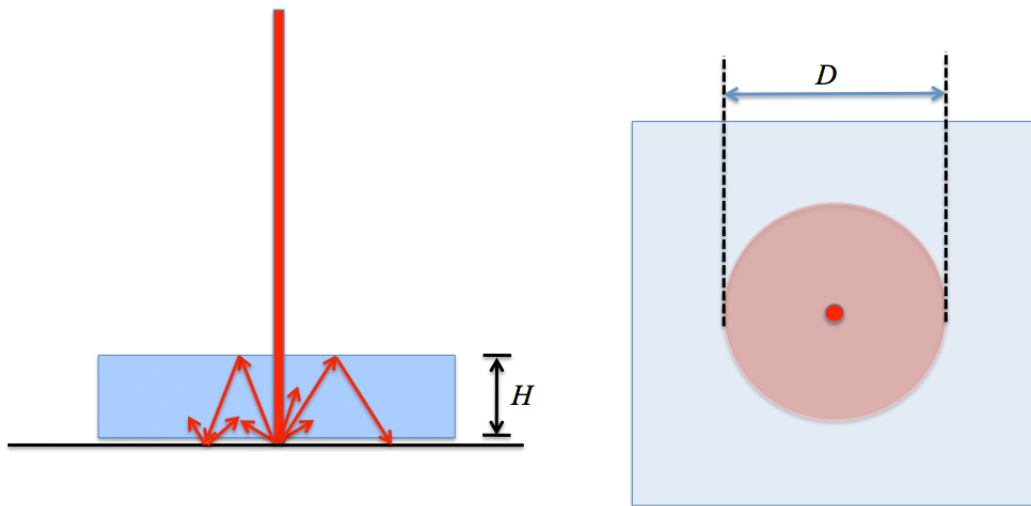


Figura 2: Esquema del láser incidiendo sobre una placa de vidrio de grosor H . Note que se forma un círculo rojo de diámetro D . La mancha central de unos cuantos milímetros es el *spot* del láser.

Como veremos más adelante, la relación entre el diámetro D de la mancha, el ancho H y los índices de refracción son,

$$\frac{n}{n_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{4H}{D}\right)^2} \quad (1)$$

donde n es el índice de refracción del vidrio y n_0 el del aire. Usted usará esta fórmula para determinar n . Sin embargo, es importante llegar a un entendimiento del fenómeno lo mejor posible.

E.1	Tarea 1: Deduzca la fórmula dada por la ecuación (1). Explique su razonamiento. Un aspecto muy importante a considerar es el hecho que entre el vidrio y el papel, en la cara inferior de vidrio, existe una capa muy delgada de aire, que debe tomarse en cuenta. Vea la Figura 2. <i>Sugerencia:</i> continúe con el resto del problema y regrese a esta pregunta al final del examen.	2 puntos
E.2	Tarea 2: Mida los anchos H de las 4 placas de vidrio con el vernier. Repórtelas en la Tabla, incluyendo sus incertidumbres. Recuerde usar la numeración (I) a (IV) en orden ascendente de grosor.	1 punto
E.3	Tarea 3: Para cada placa, mida el ancho D de la mancha circular roja y repórtela en la Tabla en la columna apropiada. Incluya las incertidumbres de las mediciones.	3 puntos

Para un análisis experimental apropiado los datos anteriores no son suficientes. Es decir, sería ideal tener mas placas de vidrios de diferentes grosores. Esto lo podríamos lograr apilando las diferentes placas. Sin embargo, esto no es tan sencillo como veremos a continuación.

E.4	Tarea 4: Coloque la placa (III) sobre el papel y póngale encima la placa (IV). Observe lo que ocurre. Después, coloque la placa (IV) sobre el papel y encima de ella coloque la (III). Observe lo que ocurre. Con base en las mediciones de las Tareas 2 y 3, y sus observaciones, conteste la pregunta: ¿es posible considerar a las placas apiladas como si fuera una sola placa cuyo grosor fuera la suma de los grosores de las placas? Explique de manera detallada su respuesta.	2 puntos
-----	--	----------

E.5	<p>Tarea 5:</p> <p>El siguiente procedimiento sí garantiza que se puedan apilar placas para formar una más gruesa: llene el recipiente de plástico con agua hasta un poco mas de la mitad. Sumerja dos placas de vidrio y júntelas bajo el agua, de tal manera que quede una delgada capa de agua entre las placas. Sáque las dos placas con cuidado, evitando que se separen y seque muy bien las dos superficies de vidrio que quedan expuestas al aire. Coloque a las placas apiladas sobre el papel milimétrico y haga incidir el láser. Verifique que lo que observa no depende de cuál placa quede sobre el papel. Mida el ancho D de la mancha observada. Mida el valor H del grosor de las dos placas apiladas.</p> <p>Repita este procedimiento apilando diferentes placas e indique cuáles apiló. Puede apilar hasta tres placas. Por razones de seguridad, no apile las cuatro placas. Reporte sus mediciones en la Tabla.</p>	5 puntos
E.6	<p>Tarea 6:</p> <p>Con los resultados de su Tabla y la fórmula (1) realice un análisis gráfico para obtener el valor del índice de refracción n del vidrio, así como su incertidumbre. Use $n_0 = 1$ como índice de refracción del aire.</p>	5 puntos
E.7	<p>Tarea 7:</p> <p>Usando el hecho de que el índice de refracción del agua es $n_W = 1.33$, explique por qué el procedimiento de la Tarea 5 sí permite considerar a las placas apiladas como una sólo placa de grosor igual a la suma de ellas, siempre que tengan una capa delgada de agua entre ellas,</p>	2 puntos

TABLA

	D	H	
I			
II			
III			
IV			