



2ª Prueba
Problema experimental

27 de febrero de 2015

Problema experimental.

Ley de Snell.

Cuando una onda plana que se propaga por un medio material incide sobre la superficie plana de otro medio diferente, la experiencia indica que aparece una onda transmitida al segundo medio y otra que vuelve hacia el primero. Estas ondas reciben los nombres de *refractada* y *reflejada*, respectivamente. Experimentalmente se encuentra que la onda reflejada se propaga en una dirección simétrica a la de incidencia respecto a la normal (véase la figura 1). La dirección de propagación de la onda refractada cumple la conocida Ley de Snell

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \quad (1)$$

En esta expresión, θ_i y θ_r son los ángulos de incidencia y de refracción, respectivamente, y las constantes adimensionales n_1 y n_2 son los índices de refracción de los dos medios. El índice de refracción n es una propiedad intrínseca de cada material y caracteriza la velocidad con que se propaga la luz en dicho material. En concreto, $n = c/v$, donde v y c son las velocidades de la luz en ese material y en el vacío, respectivamente.

Para determinar experimentalmente el índice de refracción de un material transparente puede emplearse el montaje que se esquematiza en la Figura 2: un estrecho haz de luz láser incide sobre el centro de la cara plana de un semicilindro de ese material, que está apoyado sobre el centro de una plataforma circular giratoria y graduada (goniómetro; instrumento de medida de ángulos). Observando la traza del haz láser antes y después de refractarse en la cara plana pueden medirse los ángulos de incidencia y refracción. En la figura 3 se muestra una fotografía de un montaje real de este tipo, con el que se han medido los ángulos de la Tabla I.

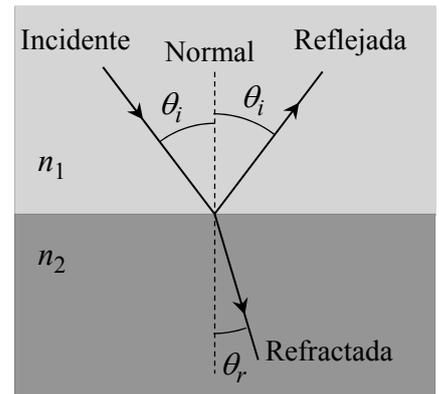


Fig. 1

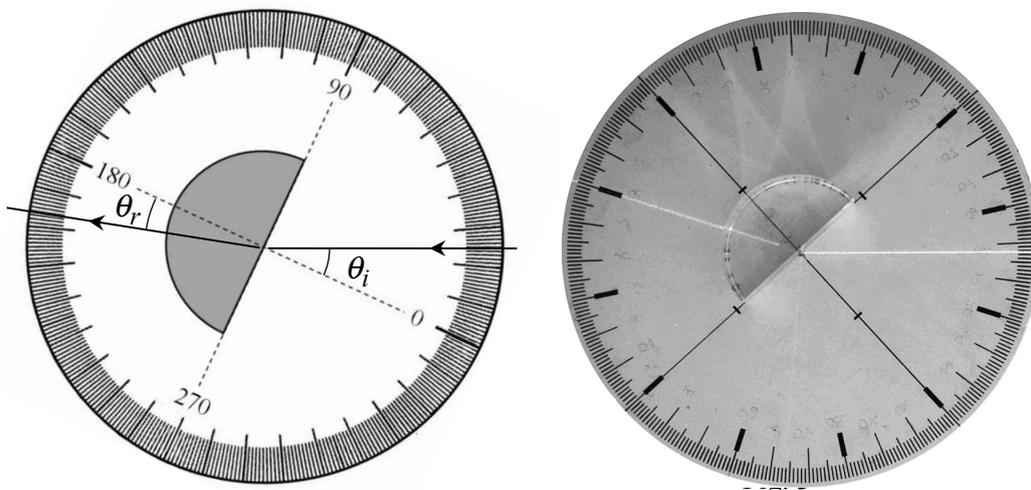


Fig. 2

θ_i (°)	θ_r (°)
10	7
20	13
30	20
40	24
50	31
60	34
70	38
80	41

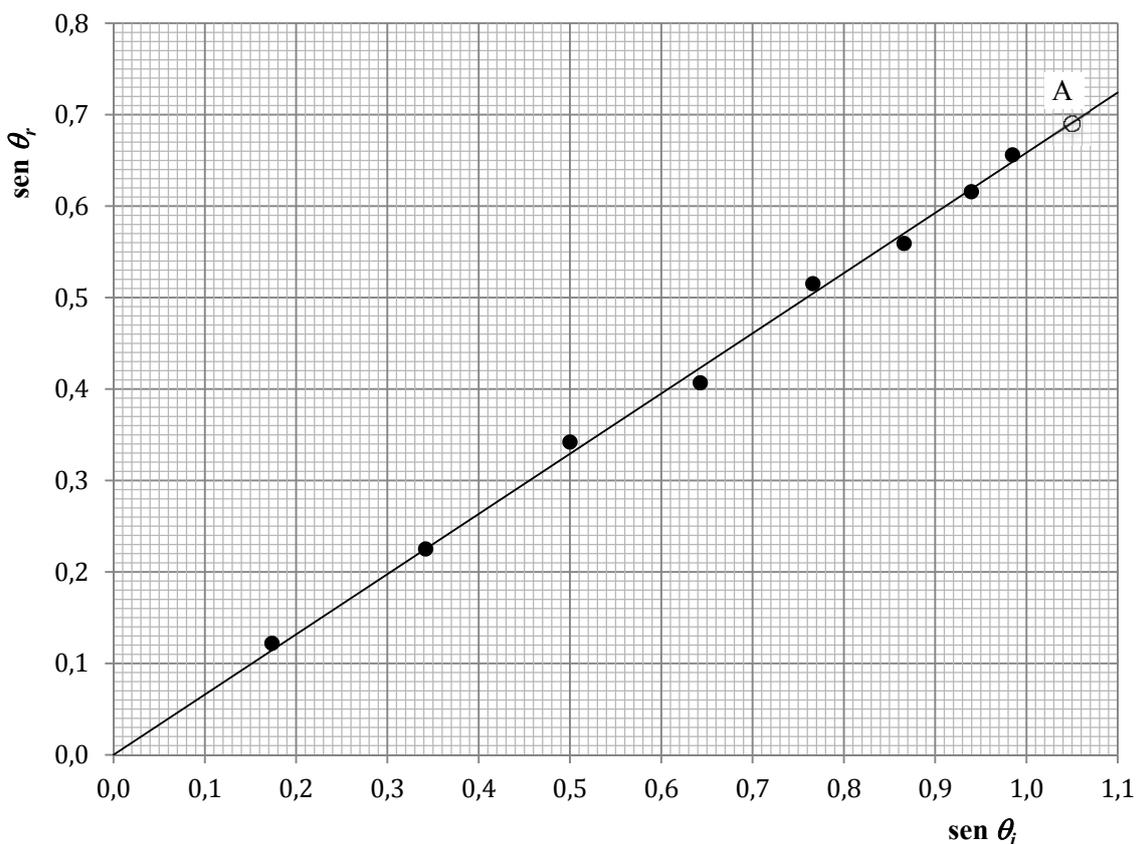
- Explica por qué se emplea un semicilindro, y no una pieza con otra geometría.
- Representa gráficamente en el papel milimetrado los ocho pares de valores $(x, y) = (\sin \theta_i, \sin \theta_r)$.
- Ajusta una línea recta a estos puntos experimentales.
- A partir de este ajuste, determina el índice de refracción de la pieza, n . Considera que el índice de refracción del aire es prácticamente igual al del vacío.
- Haz una estimación de la incertidumbre de n .

Problema experimental. Solución

- a) Como el haz láser incide sobre el eje del semicilindro, la luz refractada dentro de la pieza lleva dirección radial e incide normalmente sobre la superficie de salida al aire, de forma que no se desvía. Si la pieza tuviese cualquier otra geometría también habría refracción en la cara de salida, y no se podría medir directamente el ángulo de refracción en la cara de entrada.
- b) En la siguiente tabla se recogen los senos de los ángulos de incidencia y refracción, necesarios para la gráfica pedida.

θ_i (°)	θ_r (°)	$\text{sen } \theta_i$	$\text{sen } \theta_r$
10	7	0,174	0,113
20	13	0,342	0,233
30	20	0,500	0,326
40	24	0,643	0,431
50	31	0,766	0,508
60	34	0,866	0,566
70	38	0,940	0,616
80	41	0,985	0,656

A continuación se presenta la gráfica, con un aspecto parecido al que tendría dibujada en papel milimetrado



- c) Sobre la gráfica anterior se ha trazado la recta que mejor se ajusta a los puntos experimentales. Según la Ley de Snell (1), se espera una recta de pendiente $p = n_1/n_2$ y ordenada en el origen nula.

Se comprueba que los puntos experimentales son efectivamente compatibles con una recta que pasa por el origen. Aceptando este paso por el origen, la pendiente de la recta puede determinarse con buena precisión a partir de las coordenadas de un único punto de dicha recta. Para mejorar la precisión relativa del resultado, tomaremos un punto como el A, alejado del origen, de coordenadas

$$x_A = 1,050 ; y_A = 0,690$$

En total, la pendiente de la recta ajustada es

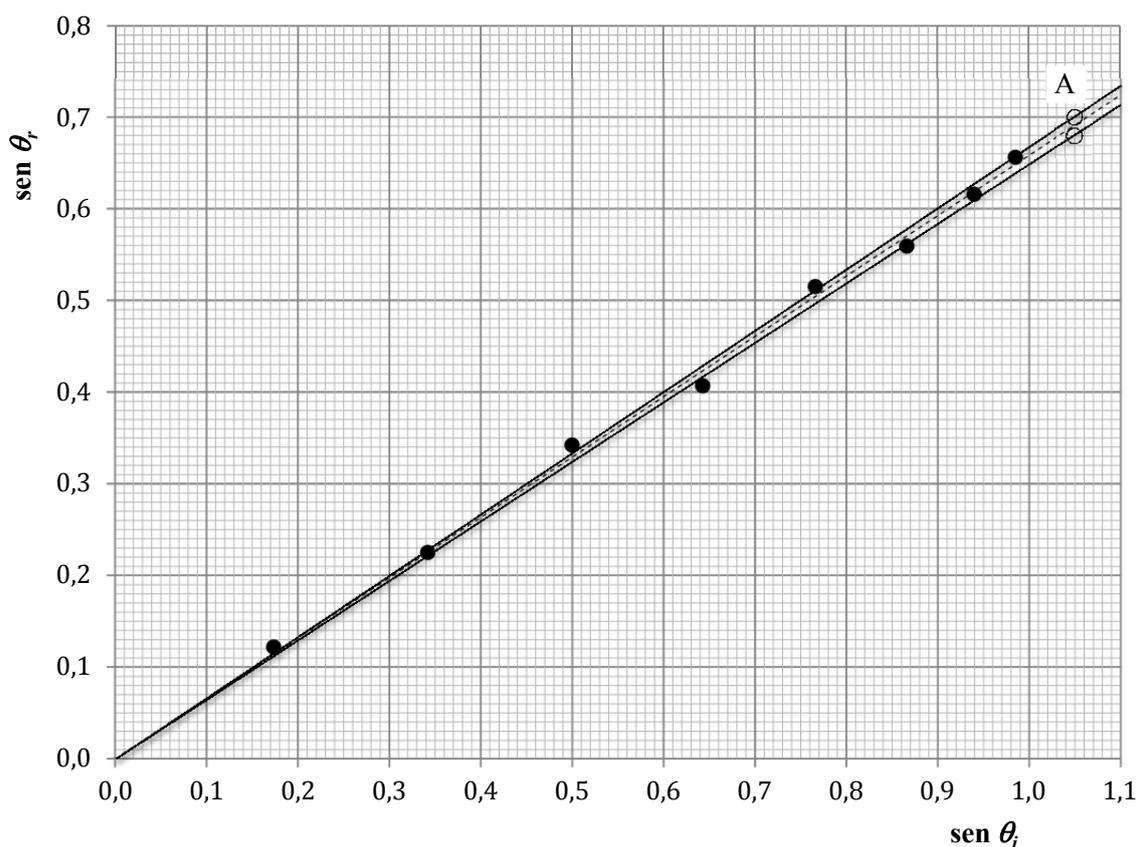
$$p = \frac{y_A}{x_A} ; \boxed{p = 0,657}$$

Nota: un ajuste por “mínimos cuadrados” conduce a un resultado muy similar: $p = 0,658$.

- d) Como se indica en el enunciado, el índice del aire es aproximadamente igual al del vacío, es decir $n_1 = 1$. Por tanto, la pendiente de la recta anterior coincide con la inversa del índice refracción buscado, n .

$$n = \frac{1}{p} ; \boxed{n = 1,522}$$

- e) Para deducir la incertidumbre de n , vamos a hacer una estimación gráfica de la incertidumbre de la pendiente, trazando las rectas que con pendientes máxima y mínima se ajustan razonablemente a los puntos experimentales, teniendo en cuenta la dispersión de estos puntos respecto de la recta de mejor ajuste.



Observando sobre la gráfica las nuevas ordenadas del punto A es inmediato obtener las pendientes de estas dos rectas y los índices de refracción correspondientes:

$$p_{\max} = 0,667 ; p_{\min} = 0,648$$

$$n_{\min} = \frac{1}{p_{\max}} = 1,499 ; n_{\max} = \frac{1}{p_{\min}} = 1,543$$

La incertidumbre buscada resulta

$$\Delta n = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{2} = 0,022$$

Como se trata de una estimación, no tiene mucho sentido expresar esta incertidumbre con más de una cifra significativa, de forma que es razonable considerar

$$\Delta n = 0,02$$

Y el resultado del experimento sería

$$n = 1,52 \pm 0,02$$

Nótese que se ha redondeado el valor de n , eliminando el tercer decimal que está completamente fuera de precisión.

Nota:

El material para realizar este experimento está disponible en los laboratorios de Física de muchos Centros de Enseñanza Secundaria. Para que los resultados sean razonables, el único cuidado es situar correctamente el semicilindro centrado sobre el goniómetro, con su cara plana exactamente sobre el diámetro orientado en la dirección $90^\circ - 270^\circ$, y dirigir el haz láser hacia el centro del goniómetro (véase la Figura 2). El correcto posicionamiento puede comprobarse observando que el haz no se desvía cuando $\theta_i = 0$, y que el ángulo de reflexión coincide con el de incidencia para cualquier $\theta_i \neq 0$.

Midiendo en estas circunstancias se obtienen unos puntos experimentales muy bien alineados, mejor que los presentados en esta prueba olímpica, de forma que la precisión del resultado es apreciablemente mejor que la obtenida aquí. En la tabla de datos del enunciado se han presentado unos datos intencionadamente “ruidosos” para facilitar el proceso de estimación “manual” de la incertidumbre de la pendiente, que no es aplicable cuando los puntos experimentales están muy bien alineados.

