

126



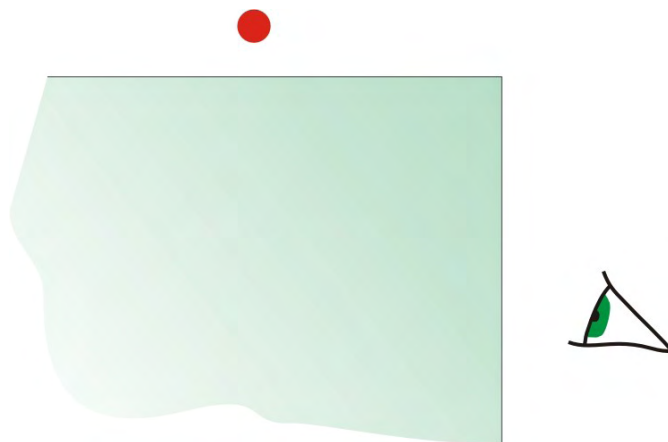
Escondite tras una esquina de vidrio

(26 - 30 enero 2009)

A un lado de una esquina de vidrio transparente hay un objeto (el punto rojo de la figura) y en el otro lado de la esquina está el observador (tú, por ejemplo). Tanto el objeto como el observador pueden estar en cualquier lugar de la esquina, con tal de que no pueda establecerse una línea de visión directa entre ambos.

¿Crees que la esquina de vidrio sirve para esconder el objeto de la vista del observador?

- (a) Sí.
- (b) No.



AVISO: El objeto de *Simple+mente física* no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se intentará presentar una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión anterior.

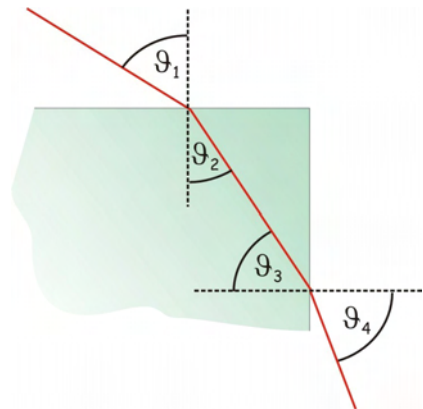
Rafael Garcia Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

*** La imagen de la cabecera fue dibujada por Clàudia Garcia Abril a la edad de 7 años ***

Resp.: Hemos de estudiar la trayectoria que sigue un rayo de luz cuando sale del objeto y entra por un lado del vidrio, para ver si sale por el otro lado y así llega hasta el observador. Para ello aplicaremos la ley de Snell $n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$ cada vez que el rayo cruza la superficie de separación entre dos medios. Los subíndices "i" y "r" indican incidente y refractado, respectivamente; n_i representa el índice de refracción de cada medio y $\theta_{i,r}$ es el ángulo que forma el rayo con la normal a cada superficie de separación.

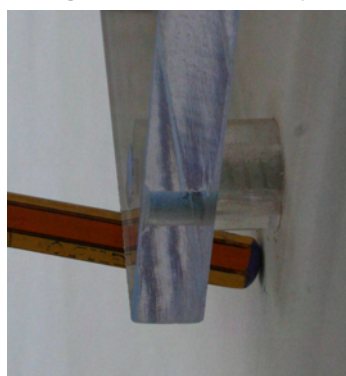
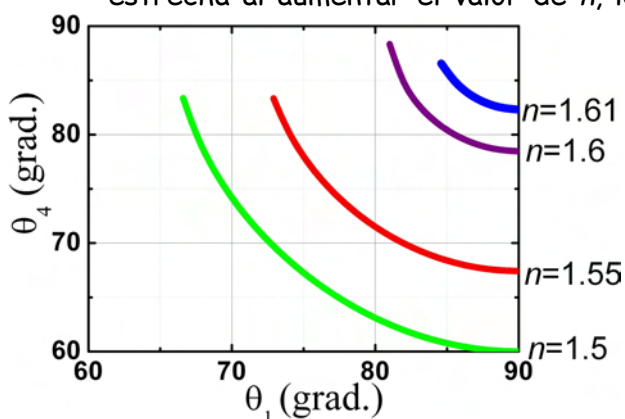
La figura adjunta muestra el camino que seguiría un rayo que incide en el vidrio procedente del objeto; los subíndices indican el orden en que avanza el rayo. La ley de Snell aplicada a las superficies que delimitan la esquina da lugar a las ecuaciones $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ y $n_3 \sin \theta_3 = n_4 \sin \theta_4$, que se reescriben $\sin \theta_1 = n \sin \theta_2$ y $n \sin \theta_3 = \sin \theta_4$ al tener en cuenta que $n_1 = n_4 = 1$ (índice de refracción del aire) y $n_2 = n_3 = n$ (índice de refracción del vidrio).



De las ecuaciones anteriores se deduce que la relación entre el ángulo θ_1 (con el que el rayo procedente del objeto incide sobre el vidrio por un lado de la esquina) y el ángulo θ_4 (con el que emerge por el otro lado) es $\sin \theta_4 = n \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1 / n}$. Para obtener esta expresión se han tenido en cuenta las siguientes fórmulas: $\theta_3 = 90^\circ - \theta_2$, $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$ y $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$.

Por lo tanto, el rayo que incide sobre un lado de la esquina formando un ángulo θ_1 emergerá por el otro lado formando un ángulo $\theta_4 = \arcsin(n \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1 / n})$; esta ecuación sólo se satisface si $n \sqrt{1 - \sin^2 \theta_1 / n} \leq 1$. Para cada índice de refracción, el observador sólo verá emerger un rayo si éste incidió sobre el otro lado de la esquina formando un ángulo $\theta_1 \geq \arcsin \sqrt{(n^2 - 1) / n}$. Esta relación impone la restricción $(n^2 - 1) / n \leq 1$ para el índice de refracción del material que deje pasar la luz de un lado al otro de la esquina; resolviendo la desigualdad anterior se obtiene que el valor máximo del índice de refracción es la relación áurea $n_{\max} = (1 + \sqrt{5}) / 2 = 1.618$.

Los índices de refracción típicos de los vidrios superan el valor 1.5, por lo que sólo hay una pequeña región de ángulos de incidencia que conduce a rayos emergentes por el otro lado de la esquina. La figura muestra la relación entre θ_1 y θ_4 para diversos valores del índice de refracción n . Puede comprobarse que, además de tratarse de una región de ángulos que se estrecha al aumentar el valor de n , los ángulos incidentes y emergentes son cada vez más rasantes (próximos a 90°), por lo que es muy difícil (prácticamente imposible) ver un objeto situado al otro lado de una esquina de vidrio, como se comprueba prácticamente en la fotografía adjunta, realizada en una esquina de metacrilato ($n \approx 1.49$).



Como se comprueba prácticamente en la fotografía adjunta, realizada en una esquina de metacrilato ($n \approx 1.49$).

Así pues, a efectos prácticos, la respuesta a la pregunta formulada es la (b).