

Refracción, reflexión interna total de la luz y fibra óptica



Materiales:

Moneda
Vaso vacío
Vaso con agua

Procedimiento:

1. Coloca la moneda debajo del vaso vacío
2. Coloca los ojos en una posición fija de manera que veas la moneda a través de un lado del vaso
3. Manteniendo la visión fija, añade agua hasta llenar el vaso

Explicación:

La luz visible corresponde a un rango del espectro electromagnético comprendido entre las longitudes de onda de 400 (violeta) y 750 nm (rojo) aproximadamente, y se caracteriza porque son longitudes de onda que el ojo humano puede percibir.

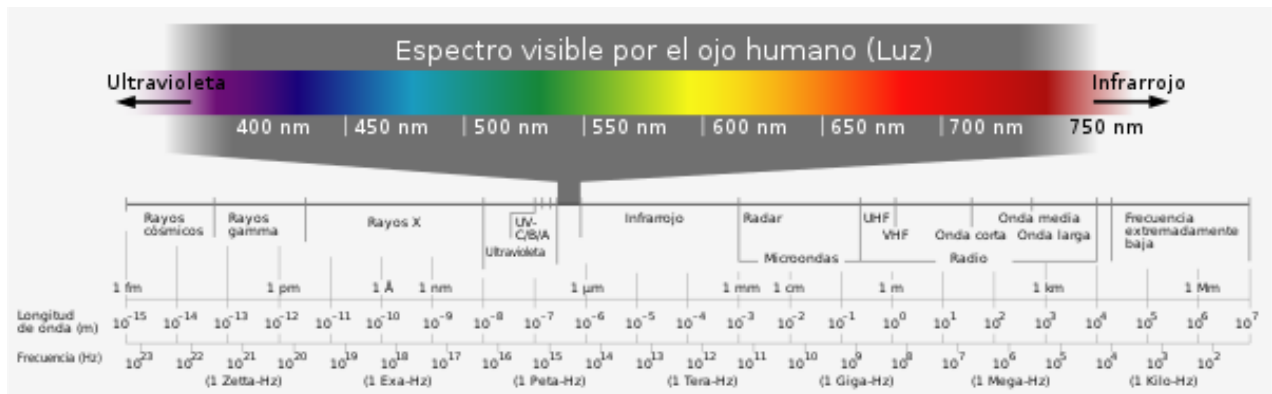


Imagen 1. Espectro electromagnético. Región visible

La luz, como radiación electromagnética, está formada por fotones, no tiene masa. Posee una velocidad finita y es menor cuando atraviesa materia que cuando viaja en el vacío.

La luz puede interactuar con la materia produciendo diferentes fenómenos (imagen 2).

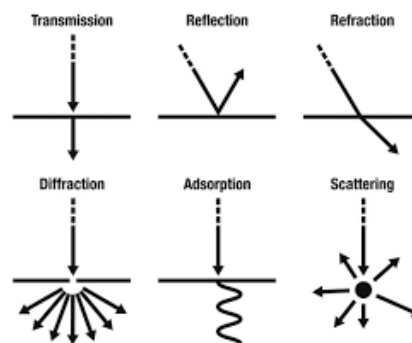


Imagen 2. Fenómenos producidos en la interacción luz-materia

Nos centraremos en la transmisión, refracción, reflexión y absorción.

Cuando la luz incide sobre una superficie reflectora (no absorbe luz, como un espejo o un metal pulido), los fotones se reflejan saliendo con el mismo ángulo con el que incidió respecto a la normal.

A este fenómeno se le llama **reflexión**.

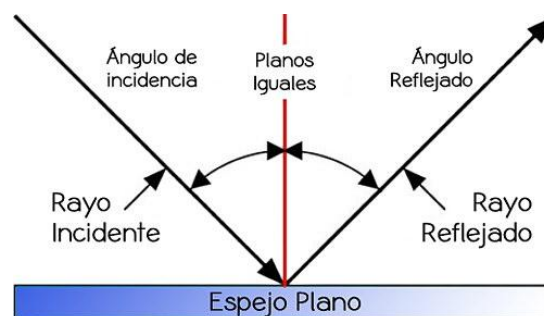


Imagen 3. Luz reflejada

Los objetos, al ser iluminados, pueden **absorber** ciertas longitudes de onda (debido a la composición química del primero) y reflejar otras. La luz reflejada es la que determinará el color de un objeto dado.

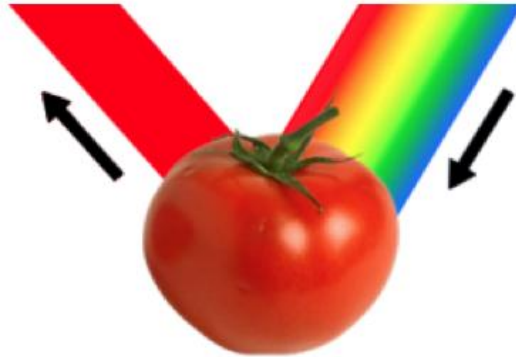


Imagen 4. Luz reflejada por un tomate. El resto de longitudes de onda son absorbidas

En materiales transparentes, la luz puede atravesarlos (también una parte puede ser reflejada), pero en función de la densidad de estos, cambiará su velocidad y el ángulo de dirección (en el caso en el que la luz no incida perpendicularmente, en cuyo caso se habla de **transmisión**). A este fenómeno se le denomina **refracción**.

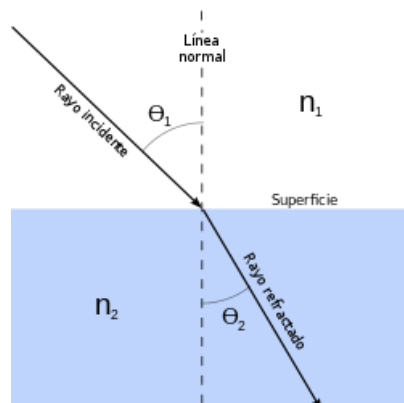


Imagen 5. Rayo de luz refractado

El cambio de ángulo se puede relacionar con el cambio de velocidad mediante la ley de Snell, por medio de los índices de refracción. Conociendo los índices de refracción y el ángulo de entrada del rayo de luz incidente se puede predecir la dirección del rayo en el medio refractado.

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

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

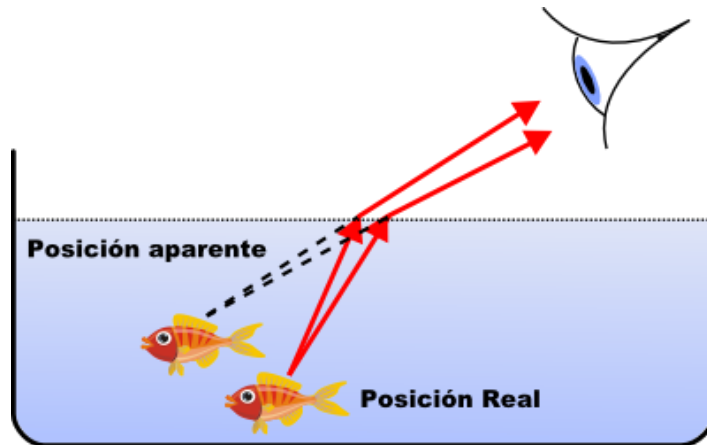


Imagen 8. Posición aparente de un objeto bajo el agua visto desde el exterior debido a la refracción

En el caso concreto en el que la luz pasa de un medio de mayor índice de refracción (como el agua o el vidrio, con valores de 1,33 y 1,46 respectivamente), a uno de menor (como el aire, de 1,0003), podemos observar como existe un ángulo (**ángulo crítico**) a partir del cual aparece un nuevo fenómeno: la **reflexión interna total**. El haz de luz no puede salir del medio de n superior, reflejándose en su interior.

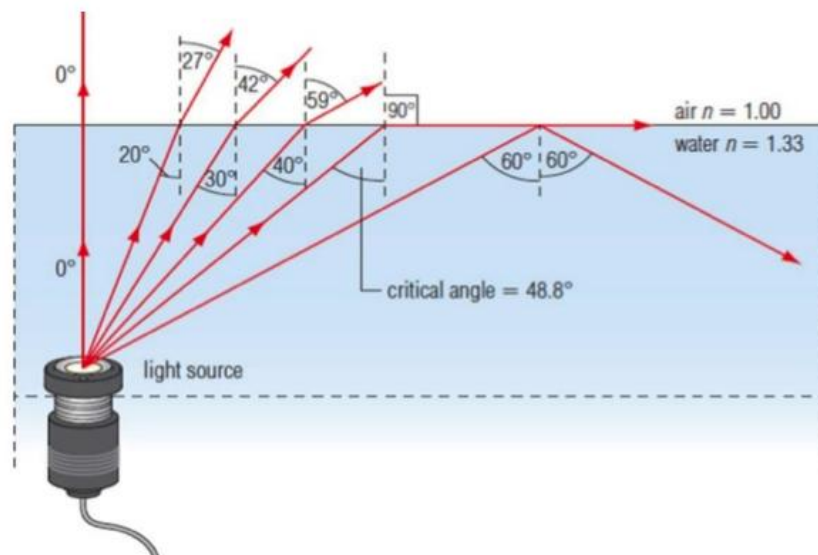


Imagen 9. Reflexión interna total y ángulo crítico: $48,8^\circ$ para el sistema agua/aire

Este fenómeno es el que ocurre en el experimento propuesto.

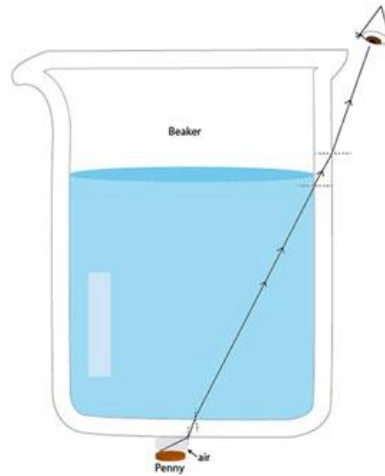


Imagen 10. Moneda bajo un vaso lleno de agua.

Entre la moneda y el vaso existe una capa de aire. La luz que llega a la moneda es reflejada (con los mismos ángulos en las superficies lisas). Desde la moneda la luz atraviesa el aire y entra en el vidrio y posteriormente al agua, sufriendo el fenómeno de refracción, por lo que su ángulo de dirección se ve modificado. La diferencia de índices de refracción entre aire y vidrio o agua es tal, que el cambio de ángulo es importante, superando siempre los $48,8^\circ$ calculados en la imagen 9 (n del agua o el vidrio $>$ n del aire), incluso en el caso límite de los rayos que inciden con prácticamente 90° respecto a la perpendicular del fondo del vaso. Por lo tanto, cuando el rayo llega al lado del vaso con ese ángulo sufre reflexión interna total y no llega a salir al aire y, por tanto, cualquier observador que se encuentre al otro lado no logrará ver la moneda. La moneda solo se verá si observamos el vaso desde arriba, ya que los fotones que vengan directamente del fondo saldrán sin sufrir reflexión.

En el caso de que la moneda esté mojada, ya no existirá capa de aire entre la moneda y el vaso y, por tanto, no existirá gran diferencia entre los índices de refracción de los medios a atravesar (agua, vidrio y agua), y por tanto la luz reflejada de la moneda no sufrirá un cambio de ángulo al entrar al agua, así existirán haces con ángulos inferiores a $48,8^\circ$ y la moneda será visible a través de la pared del vaso, ya que la luz pasará al aire, por supuesto sufriendo refracción, por lo que veremos la moneda en un lugar aparente, no en el real.

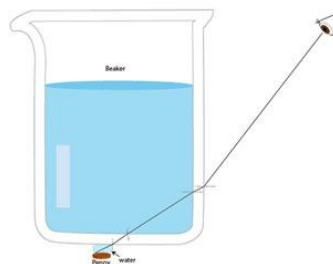


Imagen 11. Moneda mojada bajo un vaso lleno de agua

Para saber más:

La reflexión interna total se utiliza en las **fibras ópticas** para conducir la luz de la fibra sin pérdidas de energía. Los filamentos de la fibra óptica constan de un núcleo central de óxido de silicio y germanio con alto índice de refracción recubierto de una capa plástica con índice de refracción ligeramente menor a la del núcleo. De esta forma cuando un haz de luz viaja por el núcleo a un ángulo superior al ángulo crítico, sufrirá reflexión total interna, y por lo tanto no habrá pérdidas por refracción al exterior, propagándose así por el núcleo. De este modo se guían señales luminosas que permiten la transmisión de datos por largas distancias sin pérdidas.

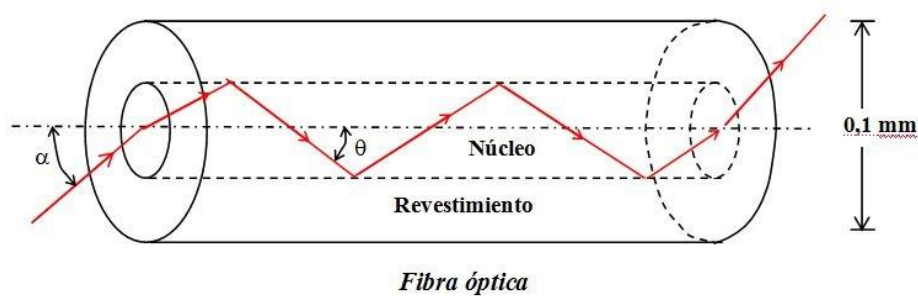


Imagen 12. Esquema de un filamento de fibra óptica

Este fenómeno fue descubierto en 1841 por Daniel Colladon, cuando, iluminando un recipiente con un orificio, observó cómo la luz viajaba por el agua que salía del recipiente sin sufrir pérdidas y siguiendo su flujo mediante reflexión interna total.



Imagen 13. Experimento de Daniel Colladon

Este fenómeno es empleado en espectáculos de música y luz en fuentes, como en la famosa fuente del hotel Bellagio en Las Vegas, protagonista de en una de las imágenes de la película Ocean's Eleven (imagen 15).



Imagen 14. Fuente empleando reflexión interna total para iluminar el agua



Imagen 15. Escena de la película Ocean's Eleven

Para poder ver un ejemplo de un show basado en este fenómeno se puede visitar el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=kvOJ37pPKaM&feature=youtu.be>