

Seminario 1: Reflexión, Refracción y ángulo crítico

Fabián Andrés Torres Ruiz*

* Departamento de Física, Universidad de Concepción, Chile

21 de Marzo de 2007.

Problemas

- (Problema 16, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
Un rayo de luz pasa del aire al agua chocando contra la superficie de separación bajo un ángulo de 45° .
¿Cuales de las siguientes magnitudes de la luz se modifican cuando ésta penetra en el agua: (1) Longitud de onda, (2) frecuencia, velocidad de propagación, (4) dirección de propagación.
(a) 1 y 2 solamente (b) 2,3 y 4 solamente (c) 1,3 y 4 solamente
(d) 3 y 4 solamente (e) 1,2,3 y 4.
- (Problema 18, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
Calcular la fracción de energía luminosa reflejada en la interfase aire-agua bajo incidencia normal. (Ayuda: Los índices de refracción para los medios son: $n_{\text{aire}} = 1$ $n_{\text{agua}} = 4/3$)
- (Problema 19, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
Determinar el ángulo de refracción de un haz luminoso en el aire que choca contra una superficie de agua bajo un ángulo de incidencia de (a) 20° (b) 30° (c) 45°
(d) 60° . Representar estos rayos en un diagrama
- (Problema 21, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
Determinar la velocidad de la luz en el agua y en el vidrio.
- (Problema 22, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
El índice de refracción del vidrio flint de silicato es 1,66 para la luz con una longitud de onda de 400nm y 1,61 para la luz con una longitud de onda de 700nm . Determinar los ángulos de refracción para la luz de estas longitudes de onda que incide en este vidrio bajo un ángulo de 45°
- (Problema 33, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
Cual es el ángulo crítico para la reflexión total interna de la luz cuando se desplaza desde el agua y es incidente sobre una superficie agua-aire?
- (Problema 34, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
Una superficie de vidrio tiene depositada encima una capa de agua ($n_{\text{vidrio}}=1,50$, $n_{\text{agua}} = 4/3$). Luz procedente del vidrio incide sobre la superficie vidrio-agua. hallar el ángulo crítico para la reflexión total interna.
- (Problema 35, capítulo 33, física para la ciencia y la tecnología, Paul A. Tipler, V2, cuarta edición)
un foco luminoso puntual está situado a 5m por debajo de la superficie de un gran estanque de agua. Hallar el área de la mayor circunferencia en la superficie del estanque a través de cuyo círculo puede emerger directamente luz del foco.

Soluciones

Problema 1

De la ley de Snell sabemos que la luz al pasar desde un medio a otro sufre un cambio en su dirección de propagación, luego (4) es correcta. Por lógica, sabemos que si la luz entra en un medio transparente, entonces el color de esta no cambia, por lo que podemos decir que su frecuencia continua siendo la misma, lo que nos indica que (2) es incorrecta. El cambio en la dirección de la luz es producido por la diferencia de velocidad de propagación en los medios, por lo que (3) también es correcta. La velocidad de propagación de una onda esta dada por la relación $v = \lambda\nu$, donde λ es la longitud de onda y ν es la frecuencia de la luz. Si la velocidad de la luz cambia al momento de cambiar de medio de propagación, entonces de la relación anterior es claro que la longitud de onda debe cambiar para compensar el cambio en la velocidad (ya que como dijimos previamente, la frecuencia no cambia), por lo tanto (1) también es verdadera.

La respuesta correcta es la (c)

Problema 2

Utilizando una de las fórmulas del apéndice, se tiene que, si la intensidad de la luz incidente es I_0 , entonces

$$I = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 I_0$$
$$\Rightarrow \frac{I}{I_0} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

reemplazando lo valores se tienen dos posibles casos:

a) *Incidencia desde el aire hacia el agua*

En este caso, $n_1 = 1$, y $n_2 = 4/3$ por lo que se tiene que la razón entre las intensidades es

$$\begin{aligned} \frac{I}{I_0} &= \left(\frac{1 - 4/3}{1 + 4/3} \right)^2 \\ &= \left(\frac{-1/3}{7/3} \right)^2 \\ &= \left(\frac{-1}{7} \right)^2 \\ &= \frac{1}{49} \approx 0,02 \end{aligned}$$

Esto quiere decir que se refleja un 2% de la luz incidente b) *Incidencia desde el agua hacia el aire*

En este caso, $n_1 = 4/3$, y $n_2 = 1$ por lo que se tiene que la razón entre las intensidades es

$$\begin{aligned} \frac{I}{I_0} &= \left(\frac{4/3 - 1}{1 + 4/3} \right)^2 \\ &= \left(\frac{1/3}{7/3} \right)^2 \\ &= \left(\frac{1}{7} \right)^2 \\ &= \frac{1}{49} \approx 0,02 \end{aligned}$$

Así vemos que el resultado no depende de el lado por el cual la luz incida.

Problema 3 El índice de refracción para el aire es $n_1 = 1$, y el del agua es de $n_2 = 4/3$. Utilizando la ley

de Snell se tiene que

$$\begin{aligned} \sin(\alpha) &= \frac{4}{3} \sin \theta \\ \Rightarrow \sin \theta &= \frac{3}{4} \sin(\alpha) \\ \theta &= \arcsin\left(\frac{3}{4} \sin(\alpha)\right) \end{aligned}$$

utilizando este resultado se tiene que

- a) $\theta_{20} = \arcsin\left(\frac{3}{4} \sin(20)\right) \approx 14,86^\circ$
- b) $\theta_{30} = \arcsin\left(\frac{3}{4} \sin(30)\right) \approx 22,02^\circ$
- c) $\theta_{45} = \arcsin\left(\frac{3}{4} \sin(45)\right) \approx 32,03^\circ$
- d) $\theta_{60} = \arcsin\left(\frac{3}{4} \sin(60)\right) \approx 40,51^\circ$

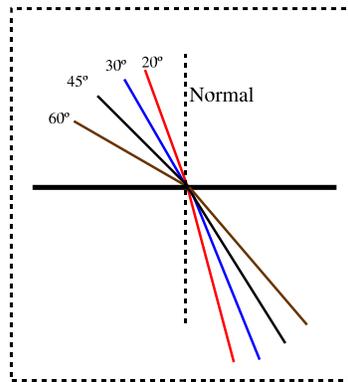


Figura 1: Diagrama de rayos

Problema 4 El índice de refracción esta definido como

$$n = \frac{c}{v}$$

donde $c \approx 3 \times 10^8 m/s$ es la velocidad de la luz en el vacío. Despejando de acá la velocidad en el medio, se tiene que

$$v = \frac{c}{n}$$

que para el caso del agua toma el valor de $v_{agua} = 2,26 \times 10^8 m/s$ y para el vidrio (suponiendo un índice de refracción de 1,55) es de $v_{vidrio} = 1,94 \times 10^8 m/s$

Problema 5 Se tiene que el ángulo de incidencia es de 45° para ambas longitudes de onda, por lo que, de la ley de Snell, asumiendo que el vidrio esta rodeado por aire ($n_{aire} = 1$), entonces se tiene que

$$\begin{aligned} \sin 45 &= n \sin \theta \\ \Rightarrow \sin \theta &= \frac{\sqrt{2}}{2n} \\ \theta &= \arcsin\left(\frac{\sqrt{2}}{2n}\right) \end{aligned}$$

Así, para la luz de $400nm$ ($n_1 = 1,66$) se tiene que $\theta_{400} = 25,21^\circ$ y para la de $700nm$ ($n_2 = 1,61$) se tiene que $\theta_{700} = 26,05^\circ$

Problema 6 Los índices en consideración son: $n_{aire} = 1, n_{agua=4/3}$. De la ley de Snell se tiene que cuando el ángulo de salida es de 90° la reflexión es total, de modo que $\sin 90 = 1$. Así se tiene que el ángulo crítico se obtiene como

$$\begin{aligned} n_1 \sin \theta_C &= n_2 \\ \theta_C &= \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \end{aligned}$$

luego, reemplazando los valores se tiene que

$$\theta_C = \arcsin \left(\frac{3}{4} \right) \approx 48,59^\circ$$

Problema 7 Usando el resultado del cálculo anterior,

$$\begin{aligned} n_1 \sin \theta_C &= n_2 \\ \theta_C &= \arcsin \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \end{aligned}$$

Los índices en consideración para este nuevo problema son $n_{vidrio} = 1,5, n_{agua=4/3}$ luego, reemplazando los valores se tiene que

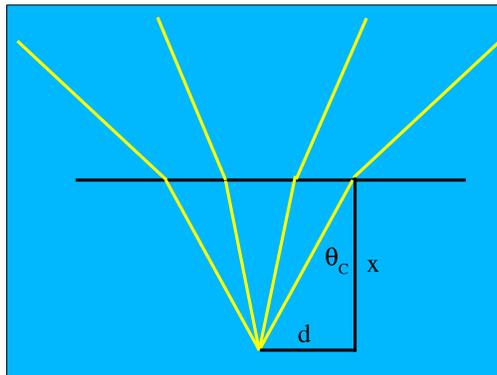
$$\theta_C = \arcsin \left(\frac{4/3}{3/2} \right) = \arcsin \left(\frac{8}{9} \right) \approx 62,73^\circ$$

Problema 8

debemos determinar cual es el ángulo crítico para la interfase agua-aire. Del problema 6 sabemos que este ángulo es $\theta_C = 48,59^\circ$ En la figura se puede ver que

$$\begin{aligned} \tan \theta_C &= \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} = \frac{d}{x} \\ \Rightarrow d &= x \tan \theta_C \end{aligned}$$

reemplazando los valores se tiene que $d \approx 5,70m$, lo que implica que el área máxima es $A \approx 100,97m^2$



Apéndice

Formulas mas utilizadas

| | | |
|---|--|---|
| Índice de refracción | $n = \frac{c}{v}$ | c : velocidad de la luz en el vacío v : Velocidad de la luz en el medio óptico. |
| Ley de reflexión | $\theta'_1 = \theta_1$ | θ'_1 : Ángulo formado entre la normal a la superficie y el haz reflejado θ_1 : Ángulo formado por el haz incidente y la normal a la superficie |
| Ley de Snell | $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ | n_i : índice de refracción del medio i de propagación θ_1 : Ángulo formado por el haz incidente y la normal a la superficie 1 θ_2 : Ángulo formado por el haz propagado y la normal a la superficie 2 |
| Ángulo crítico para reflexión total interna | $\sin \theta_C = \frac{n_1}{n_2}$ | n_i : índice de refracción del medio i de propagación θ_C : Ángulo crítico de reflexión total interna |
| Intensidad de la luz reflejada (solo para incidencia normal) | $I = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 I_0$ | n_i : Índice de refracción del medio i de propagación I_0 : Intensidad de la luz incidente |