

TEMA 9: "ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS. LA LUZ"

SOLUCIONES EJERCICIOS PROPUESTOS 1

1.- Resuelve las siguientes cuestiones:

a) ¿Cuáles son la frecuencia y el periodo de una onda electromagnética de 2,5 cm de longitud de onda?

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 1,2 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}} = 8,3 \cdot 10^{-11} \text{ s}$$

b) ¿Cuánto vale la velocidad de propagación de un rayo de luz monocromática en el agua? Dato: índice de refracción del agua $n = 4/3$

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{4/3} = 2,25 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

c) Las longitudes de onda de emisión de una cierta cadena de emisoras radiofónicas están comprendidas entre 50 y 200 m. ¿Cuál es la banda de frecuencias de emisión de la cadena?

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$$

$$f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3 \cdot 10^8}{200} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$$

La banda de frecuencias de emisión es la comprendida entre los valores de f_1 y f_2 obtenidos.

d) La estrella Altair de la constelación de Águila está situada aproximadamente a 16 años luz de la Tierra. ¿A qué distancia en kilómetros se encuentra?

$$x = c \cdot t$$

$$x = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 16 \text{ años} \cdot \left(\frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \right) \cdot \left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \right) \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 1,51 \cdot 10^{17} \text{ m} = 1,51 \cdot 10^{14} \text{ km}$$

e) Los índices de refracción absolutos del diamante y del rubí, para una determinada luz monocromática, son 2,41 y 1,76, respectivamente. ¿Cuáles son el índice de refracción relativo del diamante respecto al rubí y del rubí respecto al diamante?

$$n_{d,r} = \frac{n_d}{n_r} = \frac{2,41}{1,76} = 1,37$$

$$n_{r,d} = \frac{n_r}{n_d} = \frac{1,76}{2,41} = 0,73$$

2.- La longitud de onda central de la radiación emitida por el Sol y las estrellas Sirio y Betelgeuse es 500nm, 300 nm y 900 nm, respectivamente. Calcula, para cada estrella, la energía de un fotón correspondiente a la luz central emitida.

$$\text{Para el Sol: } E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Para Sirio: } E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{300 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Para Betelgeuse: } E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{900 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 2,21 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

3. El espectro visible contiene frecuencias entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz y $7 \cdot 10^{14}$ Hz. Cuando la luz se propaga por el agua:

a) ¿Se modifican estos valores de las frecuencias y de las longitudes de onda?

b) En caso afirmativo, calcula los valores correspondientes.

Datos: $n_{\text{agua}} = 1,3$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

a) Cuando la luz se propaga en el agua, varía su velocidad y esto queda reflejado en el valor del índice de refracción en ese medio. Sin embargo, la frecuencia es un valor fijo que nunca cambia, de modo que el cambio de velocidad solo afecta a la longitud de onda.

b) Las longitudes de onda en el vacío y en el aire son:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{mín}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{7 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 4,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Las longitudes de onda en el agua son:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1,3} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{mín}} = \frac{2,3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{7 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

4. Una de las frecuencias utilizadas en telefonía móvil (sistema GSM) es 900 MHz. ¿Cuántos fotones GSM necesitamos para obtener la misma energía que con un solo fotón de luz violeta de frecuencia $7,5 \cdot 10^8$ MHz?

La energía de un fotón de luz violeta de la frecuencia indicada es:

$$E_v = hf_v = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 7,5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

La energía de un fotón GSM es:

$$E = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 900 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1} = 5,97 \cdot 10^{-25} \text{ J}$$

El número de fotones GSM es:

$$n = \frac{E_v}{E} = \frac{4,97 \cdot 10^{-19}}{5,97 \cdot 10^{-25}} = 8,32 \cdot 10^5 \text{ fotones}$$

5. Una lámina de vidrio de 0,5 cm de espesor tiene un índice de refracción de 1,48 para un determinado rayo de luz. ¿Cuánto tiempo tarda este rayo en atravesarla perpendicularmente?

La velocidad de la luz en este vidrio es:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1,48} = 2,03 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2,03 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}} = 2,46 \cdot 10^{-11} \text{ s}$$

6.- Un rayo de luz se propaga desde el aire al agua, de manera que el rayo incidente forma un ángulo de 30° con la normal a la superficie de separación aire-agua, y el rayo refractado forma un ángulo de 128° con el rayo reflejado.

a) Determina la velocidad de propagación de la luz en el agua.

b) Si el rayo luminoso invierte el recorrido y se propaga desde el agua al aire, ¿a partir de qué ángulo de incidencia se produce la reflexión total?

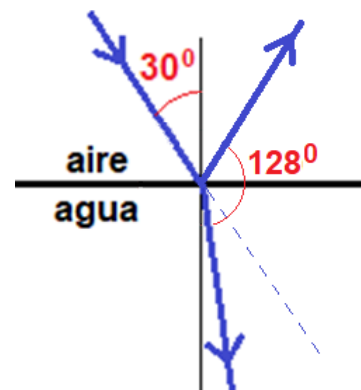
a) El ángulo de reflexión será de 30° y el de refracción:

$$180 - (30 + 128) = 22^\circ$$

Mediante la fórmula de Snell para la refracción podemos calcular el índice de refracción del agua:

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_r}{n_i} \Rightarrow n_i \cdot \sin \hat{i} = n_r \cdot \sin \hat{r}$$

$$1 \cdot \sin 30^\circ = n_{\text{agua}} \cdot \sin 22^\circ$$



De aquí calculamos n_{agua} :

$$n_{\text{agua}} = 1,33$$

$$v = \frac{c}{n} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1,33} = 2,26 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

b)

$$n_{\text{agua}} \cdot \sin \ell = n_{\text{aire}} \cdot \sin 90^\circ$$

$$\sin \ell = \frac{1,00 \cdot 1}{1,33} = 0,752$$

$$\ell = 48,8^\circ$$

7.- Dos rayos que parten del mismo punto inciden sobre la superficie de un lago con ángulos de incidencia de 30° y 45° , respectivamente.

a) Determine los ángulos de refracción de los rayos sabiendo que el índice de refracción del agua es 1,33.

b) Si la distancia entre los puntos de incidencia de los rayos sobre la superficie del lago es de 3 m, determine la separación entre los rayos a 2 m de profundidad.

Dato: Índice de refracción del aire, $n_{\text{aire}} = 1$.

a) $n_i \cdot \sin i = n_r \cdot \sin r$

$$1 \cdot \sin 30^\circ = 1,33 \cdot \sin r \rightarrow r = 22,1^\circ$$

$$1 \cdot \sin 45^\circ = 1,33 \cdot \sin r \rightarrow r = 32,1^\circ$$

b) El rayo que incide con 30° y se refracta con $22,08^\circ$ se ha separado de la normal:

$$x_1 = 2 \cdot \tan(22,08^\circ) = 0,81 \text{ m}$$

El rayo que incide con 45° y se refracta con $32,12^\circ$ se ha separado de la normal:

$$x_2 = 2 \cdot \tan(32,12^\circ) = 1,26 \text{ m}$$

La separación ha aumentado $1,26 - 0,81 = 0,45 \text{ m}$,

y como inicialmente era de 3 m entre los puntos de impacto, tenemos $d = 3,45 \text{ m}$

