

FISICA

TEMA 3: ONDAS

- Junio, Ejercicio C1
- Reserva 1, Ejercicio C2
- Reserva 2, Ejercicio C1
- Reserva 3, Ejercicio C2
- Reserva 4, Ejercicio C1
- Reserva 4, Ejercicio C2
- Julio, Ejercicio C1
- Julio, Ejercicio C2

a) Un rayo de luz monocromática pasa de un medio de índice de refracción n_1 a otro medio con índice de refracción n_2 , siendo $n_1 < n_2$. Razone y justifique la veracidad o falsedad de las siguientes frases: i) La velocidad de dicho rayo aumenta al pasar del primer medio al segundo. ii) La longitud de onda del rayo es mayor en el segundo medio.

b) Sea un recipiente que contiene agua que llega hasta una altura de 0'25 m, y sobre la que se ha colocado una capa de aceite. Procedente del aire, incide sobre la capa de aceite un rayo de luz que forma 50° con la normal a la superficie de separación aire-aceite. i) Haga un esquema de la trayectoria que sigue el rayo en los diferentes medios (aire, aceite, agua), en el que se incluyan los valores de los ángulos que forman con la normal los rayos refractados en el aceite y en el agua. ii) Calcule la velocidad de la luz en el agua.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; n_{\text{aire}} = 1; n_{\text{aceite}} = 1'47; n_{\text{agua}} = 1'33$$

FISICA. 2021. JUNIO. EJERCICIO C1

RESOLUCION

a) i) Falso. La velocidad del rayo disminuye al pasar del primer medio al segundo.

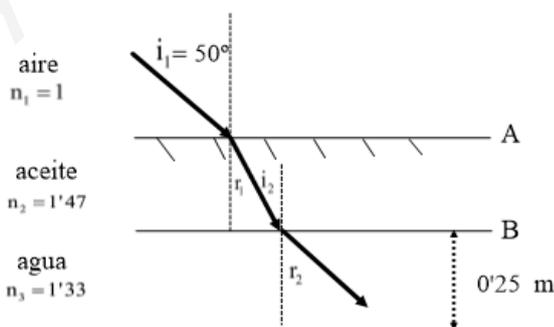
$$n_1 < n_2 \Rightarrow \frac{c}{v_1} < \frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2 < v_1$$

ii) La luz al cambiar de medio varía su velocidad de propagación y su longitud de onda, pero la frecuencia permanece constante.

Falso. La longitud de onda del rayo es menor en el segundo medio.

$$v_2 < v_1 \Rightarrow \lambda_2 \cdot f < \lambda_1 \cdot f \Rightarrow \lambda_2 < \lambda_1$$

b)



Aplicamos la Ley de Snell en A (aire – aceite)

$$n_1 \cdot \text{sen } i_1 = n_2 \cdot \text{sen } r_1 \Rightarrow \text{sen } r_1 = \frac{n_1 \cdot \text{sen } i_1}{n_2} = \frac{1 \cdot \text{sen } 50^\circ}{1'47} = 0'5211 \Rightarrow r_1 = 31'41^\circ$$

Aplicamos la Ley de Snell en B (aceite – agua)

$$n_2 \cdot \text{sen } i_2 = n_3 \cdot \text{sen } r_2 \Rightarrow \text{sen } r_2 = \frac{n_2 \cdot \text{sen } i_2}{n_3} = \frac{1'47 \cdot \text{sen } 31'41^\circ}{1'33} = 0'5759 \Rightarrow r_2 = 35'17^\circ$$

$$\text{ii) } n_3 = \frac{c}{v_3} \Rightarrow v_3 = \frac{3 \cdot 10^8}{1'33} = 2'25 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

EMESTRADA

- a) Razone y justifique la veracidad o falsedad de las siguientes frases: i) Vista desde el aire, la profundidad real de un recipiente lleno de agua es menor que su profundidad aparente.
ii) Cuando un haz de luz pasa de una región donde hay agua a otra región donde hay aceite, dicho haz viajará con mayor velocidad en la región del aceite.

$$n_{\text{aceite}} > n_{\text{agua}} > n_{\text{aire}}$$

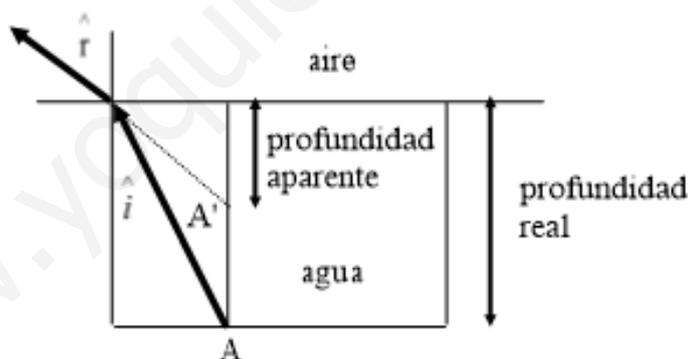
- b) Un haz de luz naranja que viaja por el aire incide sobre una lámina (de caras plano-paralelas) de un determinado material transparente de 0'6 m de espesor. Los haces reflejado y refractado forman ángulos de 45° y 35°, respectivamente, con la normal a la superficie de la lámina. i) Realice un esquema con la trayectoria de los rayos y determine el valor de la velocidad de propagación de la luz dentro de la lámina. ii) Calcule la longitud de onda de la luz naranja en la lámina.

$$\lambda_{\text{naranja(aire)}} = 6'15 \cdot 10^{-7} \text{ m} ; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} ; n_{\text{aire}} = 1$$

FISICA. 2021. RESERVA 1. EJERCICIO C2

RESOLUCION

a) i)



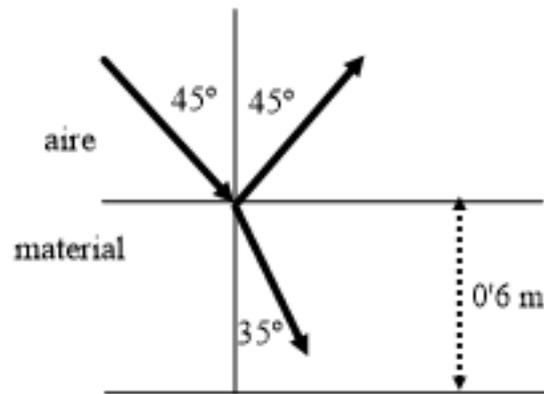
Ley de Snell: $\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_{\text{aire}}}{n_{\text{agua}}} < 1 \Rightarrow \sin \hat{i} < \sin \hat{r} \Rightarrow \hat{i} < \hat{r}$

El ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia, luego, la imagen A' del objeto A está más cerca de la superficie. La afirmación es verdadera.

ii) La afirmación es falsa, ya que:

Ley de Snell: $\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{n_{\text{aceite}}}{n_{\text{agua}}} > 1 \Rightarrow \frac{v_{\text{agua}}}{v_{\text{aceite}}} > 1 \Rightarrow v_{\text{agua}} > v_{\text{aceite}}$

b) i)



aire $c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = 6'15 \cdot 10^{-7} \cdot f \Rightarrow f = \frac{3 \cdot 10^8}{6'15 \cdot 10^{-7}} = 4'88 \cdot 10^{14}$ Hz. La frecuencia de la luz no cambia al pasar a otro medio.

Ley de Snell:

$$\frac{\hat{\text{sen}} i}{\hat{\text{sen}} r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \frac{\text{sen } 45^\circ}{\text{sen } 35^\circ} = \frac{v_{\text{aire}}}{v_{\text{material}}} \Rightarrow v_{\text{material}} = v_{\text{aire}} \cdot \frac{\text{sen } 35^\circ}{\text{sen } 45^\circ} = 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{\text{sen } 35^\circ}{\text{sen } 45^\circ} = 2'43 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

ii) medio material $v_m = \lambda_m \cdot f \Rightarrow \lambda_m = \frac{v_m}{f} = \frac{2'43 \cdot 10^8}{4'88 \cdot 10^{14}} = 4'98 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

a) i) ¿Qué información ofrece la ecuación de una onda armónica si fijamos una posición concreta?. Realice una representación gráfica. ii) ¿Y si fijamos una posición y un tiempo concretos simultáneamente?.

b) La siguiente ecuación corresponde a una onda armónica que se desplaza por un medio

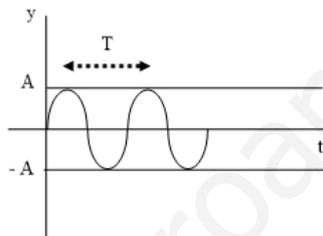
elástico: $y(x,t) = 0'1 \text{sen} \left[5\pi t - \frac{5}{2}\pi x + \frac{\pi}{2} \right]$ (S.I.).

Determine: i) Su periodo, su longitud de onda y su velocidad de propagación. ii) La velocidad de oscilación del punto $x = 2 \text{ m}$ en el instante $t = 1 \text{ s}$.

FISICA. 2021. RESERVA 2. EJERCICIO C1

R E S O L U C I O N

a) i) $y(x,t) = A \text{sen}(\omega t - kx)$ Si se fija una posición concreta $x = x_0 \Rightarrow y(x_0, t) = A \text{sen}(\omega t - kx_0)$



Lo que se observa es un movimiento armónico simple del punto $x = x_0$ y en la elongación, se observa como el punto $x = x_0$ oscila entorno a la posición de equilibrio con periodicidad T .

ii) Si fijamos a la vez posición y tiempo: $\left\{ \begin{matrix} x = x_0 \\ t = t_0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow y(x_0, t_0) = A \text{sen}(\omega t_0 - kx_0)$ se obtiene la elongación del punto $x = x_0$ en el instante $t = t_0$.

b) $y(x,t) = 0'1 \text{sen} \left[5\pi t - \frac{5}{2}\pi x + \frac{\pi}{2} \right]$ (S.I.)

i) Identificando coeficientes, tenemos que: $\left\{ \begin{matrix} \omega = 5\pi = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2}{5} \text{ s} & \text{Periodo} \\ k = \frac{5}{2}\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{4}{5} \text{ m} & \text{Longitud de onda} \end{matrix} \right.$

Luego: $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\frac{4}{5}}{\frac{2}{5}} = 2 \text{ m/s}$ Velocidad de propagación

ii) $v_{\text{oscilación}} = \frac{dy}{dt} = 0'1 \cdot 5\pi \cdot \cos \left[5\pi t - \frac{5}{2}\pi x + \frac{\pi}{2} \right]$

$v \left(\begin{matrix} x = 2 \\ t = 1 \end{matrix} \right) = 0'1 \cdot 5\pi \cdot \cos \left[5\pi - \frac{5}{2}\pi \cdot 2 + \frac{\pi}{2} \right] = 0'1 \cdot 5\pi \cdot \cos \frac{\pi}{2} = 0 \text{ m/s}$

a) Una onda armónica de amplitud A y frecuencia f se propaga por una cuerda con una velocidad v . Determine los cambios que se producirían en la longitud de onda y la velocidad máxima de oscilación de un punto del medio si, manteniendo constantes el resto de parámetros:
i) Se reduce a la mitad la frecuencia. ii) Se aumenta su amplitud al doble.

b) Una onda, cuya amplitud es de $0'05$ m y su número de onda 10π rad \cdot m⁻¹, se propaga por una cuerda en el sentido positivo del eje X con una velocidad de 2 m \cdot s⁻¹. i) Determine su ecuación teniendo en cuenta que en el instante inicial el punto $x = 0$ m se encuentra en la posición más alta de su oscilación. ii) Razone si los puntos $x_1 = 0'6$ m y $x_2 = 0'9$ m están en fase o en oposición de fase.

FISICA. 2021. RESERVA 3. EJERCICIO C2

R E S O L U C I O N

a) i) $f' = \frac{f}{2}$ y se mantienen constantes A y v

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow v = \lambda' \cdot f' = \lambda' \cdot \frac{f}{2} \Rightarrow \lambda' = 2\lambda \text{ La longitud de onda aumenta al doble}$$

$$y(x, t) = A \operatorname{sen}(\omega t - kx)$$

$$v_{\text{oscilación}} = \frac{dy}{dt} = A \cdot \omega \cos(\omega t - kx)$$

$$v_{\text{máxima de oscilación}} = A \cdot \omega = A \cdot 2\pi f \Rightarrow v'_{\text{máxima de oscilación}} = A \cdot 2\pi \cdot \frac{f}{2} = \frac{v_{\text{máxima de oscilación}}}{2}$$

La velocidad máxima de oscilación se reduce a la mitad.

ii) $A' = 2A$ y se mantienen constantes f y v

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \text{cte ya que } f \text{ y } v \text{ son constantes.}$$

$$v_{\text{máxima de oscilación}} = A \cdot \omega = A \cdot 2\pi f \Rightarrow v'_{\text{máxima de oscilación}} = A' \cdot 2\pi \cdot f = 2A \cdot 2\pi \cdot f = 2 \cdot v_{\text{máxima de oscilación}}$$

La velocidad máxima de oscilación aumenta al doble.

b)

i) $y\left(\begin{matrix} x=0 \\ t=0 \end{matrix}\right) = A \Rightarrow y(x, t) = A \operatorname{sen}(\omega t - kx + \delta) \Rightarrow A = A \cdot \operatorname{sen} \delta \Rightarrow \operatorname{sen} \delta = 1 \Rightarrow \delta = \frac{\pi}{2}$ desfase inicial.

$$k = \frac{\omega}{v} \Rightarrow 10\pi = \frac{\omega}{2} \Rightarrow \omega = 20\pi \Rightarrow y(x, t) = 0'05 \operatorname{sen}\left(20\pi t - 10\pi x + \frac{\pi}{2}\right) \text{ (S.I.)}$$

ii) Calculamos λ : $k = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow 10\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2}{10} = 0'2$ m

Para que estén en fase, la distancia entre los puntos debe ser λ ó $n\lambda$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)

Para que estén en oposición de fase, la distancia entre los puntos debe ser $\frac{\lambda}{2}$ ó $\frac{\lambda}{2} + n\lambda$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)

Distancia entre los puntos = $0'9 - 0'6 = 0'3 = 0'2 + 0'1 = \lambda + \frac{\lambda}{2} \Rightarrow$ Están en oposición de fase

a) i) Explique brevemente qué es una onda electromagnética. ii) Sitúe, en orden creciente de frecuencias, las siguientes regiones del espectro electromagnético: ultravioleta, infrarrojo, microondas y luz visible. iii) Justifique razonadamente si dos rayos de diferentes colores del espectro visible (por ejemplo, violeta y verde), pueden tener la misma frecuencia.

b) Un rayo de luz monocromático de frecuencia $5 \cdot 10^{14}$ Hz, que se propaga por un medio de índice de refracción $n_1 = 1.7$, incide sobre otro medio de índice de refracción $n_2 = 1.3$ formando un ángulo de 25° con la normal a la superficie de separación entre ambos medios.

i) Haga un esquema y calcule el ángulo de refracción. ii) Determine la longitud de onda del rayo en el segundo medio. iii) ¿Cuál es el ángulo de incidencia crítico a partir del cual este rayo se reflejaría completamente?. Razone sus respuestas ayudándose de un esquema.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

FISICA. 2021. RESERVA 4. EJERCICIO C1

R E S O L U C I O N

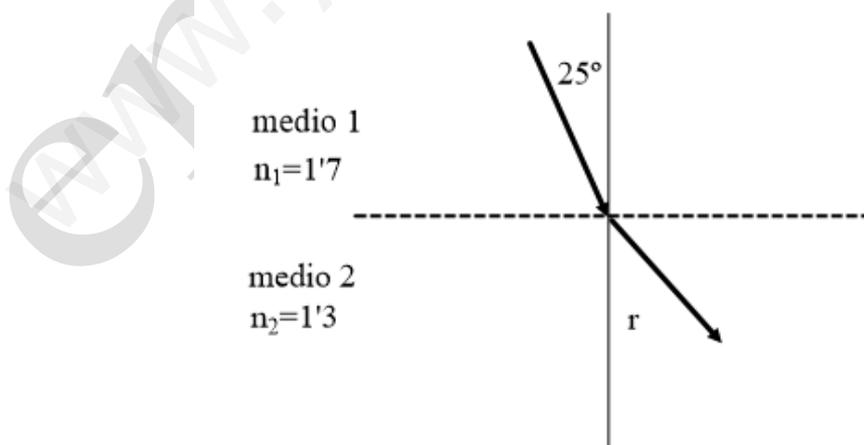
a) i) Es una onda que no necesita de medio alguno para propagarse. Está compuesta de una onda eléctrica y una onda magnética que son transversales y perpendiculares entre si. Las ondas electromagnéticas se propagan a las máximas velocidades conocidas. En el vacío a la velocidad de la luz.

La onda electromagnética se propaga debido a que la variación de un campo eléctrico produce un campo magnético que a su vez varía y produce un campo eléctrico que a su vez varía, y así sucesivamente.

$$\text{ii) } f_{\text{microondas}} < f_{\text{infrarrojo}} < f_{\text{visible}} < f_{\text{ultravioleta}}$$

iii) Un color está asociado a una frecuencia concreta, de forma que dos colores diferentes tienen dos frecuencias distintas. Si dos rayos tuvieran la misma frecuencia, tendrían el mismo color.

b) i)

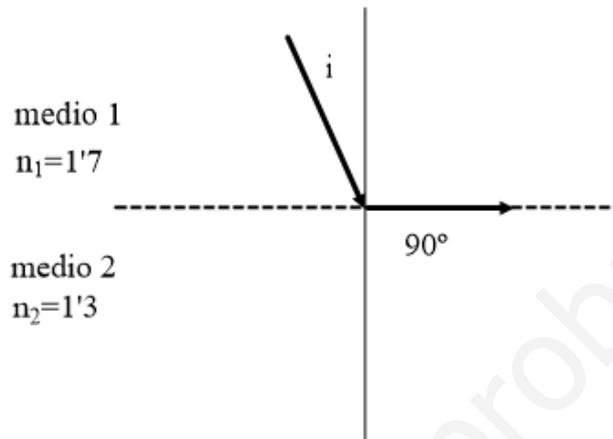


$$\text{Ley de Snell: } \frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{\sin 25^\circ}{\sin \hat{r}} = \frac{1.3}{1.7} \Rightarrow \sin \hat{r} = 0.5526 \Rightarrow \hat{r} = 33.55^\circ$$

ii) La frecuencia permanece constante $f_1 = f_2 = 5 \cdot 10^{14}$ Hz

$$n_2 = \frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \cdot 10^8}{1'3} = \lambda_2 \cdot f_2 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{1'3 \cdot 5 \cdot 10^{14}} = 4'62 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

iii)



Ley de Snell: $\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } 90^\circ} = \frac{1'3}{1'7} \Rightarrow \text{sen } \hat{i} = 0'7647 \Rightarrow \hat{i} = 49'88^\circ$

$\hat{i} = 49'88^\circ$ es el ángulo límite, para ángulos mayores se produce reflexión total.

a) Una onda armónica que viaja por un medio pasa a un segundo medio en el que la velocidad de propagación es inferior. Suponiendo que la onda pasa completamente al segundo medio, sin reflexión ni absorción: i) Razone cómo se modifican la frecuencia y la longitud de onda al cambiar de medio. ii) Razone si se verán afectadas la amplitud y la velocidad máxima de vibración.

b) Por una cuerda tensa se propaga en el sentido positivo del eje X una onda armónica transversal de 0'05 m de amplitud, 2 Hz de frecuencia y con una velocidad de propagación 0'5 m·s⁻¹. i) Determine la ecuación de la onda, sabiendo que para t = 0 s el punto x = 0 m se encuentra en la posición más alta de su oscilación. ii) Calcule la expresión de la velocidad de oscilación de un punto del medio y su valor máximo.

FISICA. 2021. RESERVA 4. EJERCICIO C2

R E S O L U C I O N

a) i) $v_1 > v_2$

La frecuencia en la onda no cambia al refractarse. La longitud de onda disminuye en el segundo medio, ya que:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow \begin{cases} v_1 = \lambda_1 \cdot f \\ v_2 = \lambda_2 \cdot f \end{cases} \Rightarrow \lambda_1 \cdot f > \lambda_2 \cdot f \Rightarrow \lambda_1 > \lambda_2$$

ii) Si no hay reflexión ni absorción, la energía que transporta la onda pasa totalmente al segundo medio, es decir, no cambia la energía que depende de la frecuencia y la amplitud. Como no cambian ni la energía ni la frecuencia, la amplitud es constante.

La velocidad de vibración $v_{\text{vibración}} = \frac{dx}{dt} = \frac{d(A \sen(\omega t + \theta_0))}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \theta_0)$

$v_{\text{max}} = A \cdot \omega$ y como $\omega = 2\pi \cdot f$ y A es constante y f es constante, entonces, la velocidad máxima no cambia

b) i) $y(x, t) = A \sen(\omega t - kx + \delta)$

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 2 = 4\pi$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} = \frac{4\pi}{0'5} = 8\pi$$

$$y(0, 0) = A \Rightarrow A = A \sen \delta \Rightarrow \sen \delta = 1 \Rightarrow \delta = \frac{\pi}{2}$$

Luego, la ecuación de onda es: $y(x, t) = 0'05 \cdot \sen\left(4\pi t - 8\pi x + \frac{\pi}{2}\right)$ (S.I.)

ii) La velocidad de oscilación en un punto $x = x_0$, será:

$$v_{\text{oscilación}} = \frac{dy}{dt} = 0'05 \cdot 4\pi \cdot \cos\left[4\pi t - 8\pi x_0 + \frac{\pi}{2}\right] = 0'2\pi \cdot \cos\left[4\pi t - 8\pi x_0 + \frac{\pi}{2}\right] \text{ m/s}$$

La velocidad es máxima cuando coseno = 1, luego: $v_{\text{max}} = 0'2\pi = 0'628 \text{ m/s}$

a) i) Justifique que en una onda estacionaria la amplitud varía en cada punto. ii) Realice una representación gráfica de una onda estacionaria en función del espacio y explique qué se entiende por un nodo en este tipo de ondas.

b) Una onda estacionaria queda descrita mediante la ecuación:

$$y(x, t) = 0'5 \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{3}x\right) \cos(40\pi t) \quad (\text{S.I.}).$$

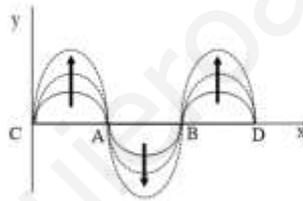
Determine razonadamente: i) Amplitud, longitud de onda y velocidad de propagación de las ondas armónicas cuya superposición da lugar a esta onda estacionaria. ii) Posición de los vientres y amplitud de los mismos.

FISICA. 2021. JULIO. EJERCICIO C1

R E S O L U C I O N

a) La expresión matemática de una onda estacionaria es de la forma $y(x, t) = 2A \operatorname{sen} kx \cos \omega t$. Si fijamos el tiempo t , $t = t_0 \Rightarrow y(x, t_0) = 2A \operatorname{sen} kx \cos \omega t_0$. La expresión $2A \operatorname{sen} kx$ expresa la amplitud de un punto x , que como se ve, no es un valor constante, sino que varía en función de x .

ii)



Por ejemplo, una cuerda atada en dos extremos y tiene 2 nodos en medio. Los puntos van oscilando, cada punto vibra diferente. Todos los puntos alcanzan a la vez su amplitud máxima. Cada punto sube, luego baja y así sucesivamente. El nodo es un punto que no vibra nunca, es decir, los puntos A, B, C y D. Cada punto tiene energía, excepto los nodos.

b) i)

$$\left. \begin{aligned} y(x, t) &= 0'5A \operatorname{sen} \frac{\pi}{3}x \cos 40\pi t \\ y(x, t) &= 2A \operatorname{sen} kx \cos \omega t \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Identificando coeficientes, tenemos que:}$$

- $2A = 0'5 \Rightarrow A = 0'25 \text{ m}$ (Amplitud)
- $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{3} \Rightarrow \lambda = 6 \text{ m}$ (longitud de onda)
- $v = \frac{\omega}{k} = \frac{40\pi}{\frac{\pi}{3}} = 120 \text{ m/s}$ (velocidad de propagación)

ii) Los vientres tienen de amplitud $2A = 0'5 \text{ m}$

Los vientres están entre nodo y nodo

$$y(x, t) = 0 = 0'5 \operatorname{sen} \frac{\pi}{3}x \cos 40\pi t \Rightarrow 0 = \operatorname{sen} \frac{\pi}{3}x \Rightarrow \frac{\pi}{3}x = n\pi$$

$$n=0 \Rightarrow x=0 \text{ m} ; n=1 \Rightarrow x=3 \text{ m} ; n=2 \Rightarrow x=6 \text{ m} ; n=3 \Rightarrow x=9 \text{ m} \text{ etc...}$$

1^{er} vientre en $x=1'5 \text{ m}$; 2^o vientre en $x=4'5 \text{ m}$; 3^{er} vientre en $x=7'5 \text{ m}$ etc...

La distancia entre vientre y vientre = $\frac{\lambda}{2} = 3 \text{ m}$

EMESTRADA

a) Razone y justifique la veracidad o falsedad de las siguientes frases: i) Cuando la luz pasa de un medio a otro experimenta un aumento de su velocidad si el segundo medio tiene un índice de refracción mayor que el primero. ii) La reflexión total de la luz en la superficie de separación de dos medios puede producirse cuando el índice de refracción del segundo medio es mayor que el del primero.

b) Un rayo de luz con componentes azul y roja de longitudes de onda en el aire de $4'5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ y $6'9 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, respectivamente, incide desde el aire sobre una placa de un determinado material con un ángulo de 40° respecto a la normal a la superficie de la placa. i) Mediante un esquema, y de manera razonada, indique la trayectoria de los rayos azul y rojo, tanto en el aire como en el material. ii) Deduzca cuál de las dos componentes (azul o roja) se propaga más rápidamente en el interior de la lámina. iii) Determine las frecuencias de los rayos en el aire.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; n_{\text{aire}} = 1; n_{\text{material(azul)}} = 1'47; n_{\text{material(roja)}} = 1'44$$

FISICA. 2021. JULIO. EJERCICIO C2

RESOLUCION

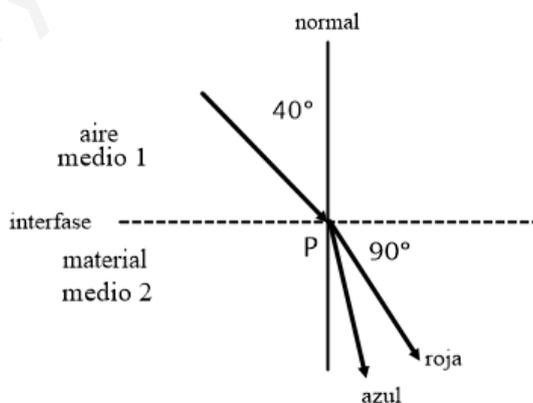
a) i) Falso. La velocidad del rayo disminuye al pasar del primer medio al segundo.

$$n_1 < n_2 \Rightarrow \frac{c}{v_1} < \frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2 < v_1$$

ii) Falso. Según la Ley de Snell: $\frac{\hat{\sin} i}{\hat{\sin} r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} > 1 \Rightarrow \hat{\sin} i > \hat{\sin} r \Rightarrow \hat{i} > \hat{r}$

Y para que se produzca reflexión total tiene que ser $\hat{i} < \hat{r}$

b) i)



Según la Ley de Snell: $\frac{\hat{\sin} i}{\hat{\sin} r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

Para la luz azul: $\frac{\text{sen } 40^\circ}{\text{sen } \hat{r}_a} = \frac{1'47}{1} \Rightarrow \hat{r}_a = 25'93^\circ$

Para la luz roja: $\frac{\text{sen } 40^\circ}{\text{sen } \hat{r}_r} = \frac{1'44}{1} \Rightarrow \hat{r}_r = 26'51^\circ$

ii) $n_{\text{azul}} = \frac{c}{v_{\text{azul}}} \Rightarrow v_{\text{azul}} = \frac{3 \cdot 10^8}{1'47} = 2'04 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$n_{\text{roja}} = \frac{c}{v_{\text{roja}}} \Rightarrow v_{\text{roja}} = \frac{3 \cdot 10^8}{1'44} = 2'08 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Vemos que la luz roja se propaga más rápidamente que la luz azul dentro del material.

iii) $f_{\text{azul}} = \frac{c}{\lambda_{\text{azul}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{4'5 \cdot 10^{-7}} = 6'67 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; $f_{\text{roja}} = \frac{c}{\lambda_{\text{roja}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{6'9 \cdot 10^{-7}} = 4'35 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$