

EXERCICIOS DE SELECTIVIDADE

CUESTIÓNS

Razoa as respostas ás seguintes cuestións:

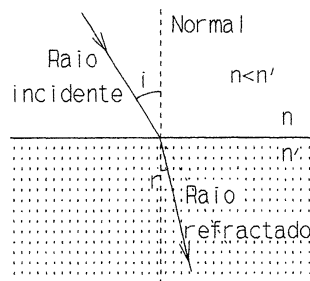
1.- Un raio de luz incide dende o aire ($n = 1$) sobre unha lámina de vidro de índice de refracción $n = 1,5$. O ángulo límite para a reflexión total deste raio é: a) $41,8^\circ$; b) 90° ; c) non existe. (Set. 08).

Solución:

Un raio de luz, que incide sobre a superficie de separación de dous medios transparentes de distinto índice de refracción, pode pasar ó segundo medio, experimentando o fenómeno de refracción, ou continuar exclusivamente no medio de incidencia, aparecendo o fenómeno de reflexión total. Neste segundo caso, o ángulo de incidencia para o cal o raio refractado está na superficie de separación dos dous medios, recibe o nome de **ángulo límite**.

A relación entre o ángulo de incidencia, i , (ángulo formado polo raio incidente coa normal á superficie de separación dos dous medios) e o ángulo de refracción, r , (ángulo formado polo raio refractado coa normal) co índice de refracción do primeiro, n_1 , e segundo medio, n_2 , vén dado

pola lei de Snell: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$.



Para o caso de que o raio de luz pase do aire ($n_1 = 1$) ó vidro ($n_2 = 1,5$) resulta:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1,5}{1} \rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} > 1 \Rightarrow i > r$$

O raio luminoso, para calquera valor de i , despois de incidir na superficie de separación dos dous medios, pasa ó vidro, acercándose á normal, non producíndose o fenómeno de reflexión total e, en consecuencia **non hai ángulo límite**.

2.- Se a ecuación de propagación dun movemento ondulatorio é $y(x,t) = 2 \sin(8\pi t - 4\pi x)$ (SI); a súa velocidade de propagación é: a) 2 m/s; b) 32 m/s; c) 0,5 m/s. (Xuño 08).

Solución:

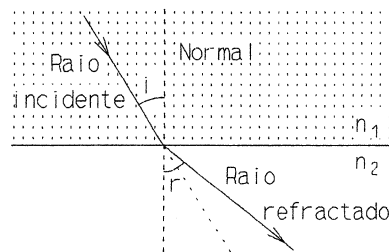
$$\left. \begin{array}{l} v = \frac{x}{t} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \\ \left. \begin{array}{l} k = \frac{2\pi}{\lambda} \\ k = 4\pi \text{ m}^{-1} \end{array} \right\} \rightarrow 4\pi = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \lambda = 0,5 \text{ m} \\ \left. \begin{array}{l} \omega = \frac{2\pi}{T} \\ \omega = 8\pi \text{ s}^{-1} \end{array} \right\} \rightarrow 8\pi = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = 0,25 \text{ s} \end{array} \right\} \rightarrow v = \frac{0,5}{0,25} \rightarrow v = 2 \text{ m s}^{-1}$$

3.- Cando un raio de luz incide nun medio de menor índice de refracción, o raio refractado: a) varía a súa frecuencia, b) acércase á normal; c) pode non existir raio refractado. (Set. 07).

Solución:

Cando un raio luminoso pasa desde un medio 1, de índice de refracción n_1 , a outro medio 2, de índice de refracción n_2 , a relación entre o ángulo de incidencia (o formado polo raio incidente coa normal á superficie de separación dos dous medios), i , e o de refracción (o formado polo raio refractado coa normal), r , vén dada

pola lei de Snell: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$.



Polo tanto, se $n_1 > n_2$ resulta que $\sin r > \sin i$ e, en consecuencia, $r > i$, habendo un ángulo de incidencia, chamado ángulo límite, para o cal o raio refractado está na superficie de separación dos dous medios: $r = 90^\circ$. Para ángulos de incidencia superiores ó ángulo límite non hai raio refractado, aparecendo o que se coñece como reflexión total.

4.- Se un feixe de luz láser incide sobre un obxecto de pequeno tamaño (do orde da súa lonxitude de onda): a) detrás do obxecto hai sempre escuridade; b) hai zonas de luz detrás do obxecto; c) reflíctese cara ao medio de incidencia. (Set. 07).

Solución:

Cando un feixe de luz incide sobre un obxecto, que ten un tamaño do orde da lonxitude de onda da luz utilizada, λ , aparece o **fenómeno de difracción**, que é característico do movemento ondulatorio. Consiste en que a onda bordea ó obstáculo, propagándose ó seu arredor e, nunha pantalla situada detrás do obxecto, aparece unha serie de zonas claras e escuras, como consecuencia de interferencias construtivas e destrutivas.

5.- Unha onda electromagnética que se atopa cun obstáculo de tamaño semellante á súa lonxitude de onda: a) forma nunha pantalla, colocada detrás do obstáculo, zonas claras e escuras; b) polarízase e o seu campo eléctrico oscila sempre no mesmo plano; c) reflíctese no obstáculo. (xuño 07).

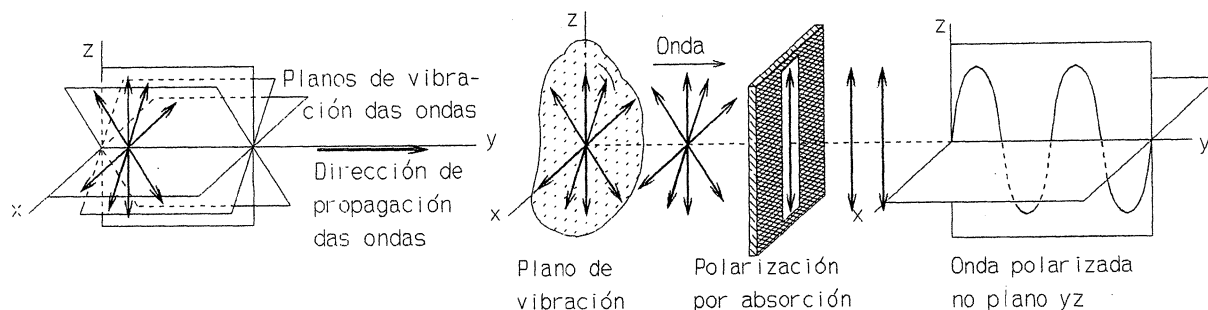
Solución:

Ver resposta da cuestión anterior.

6.- Na polarización lineal da luz: a) modifícase a frecuencia da onda; b) o campo eléctrico oscila sempre nun mesmo plano; c) non se transporta enerxía. (Set. 06).

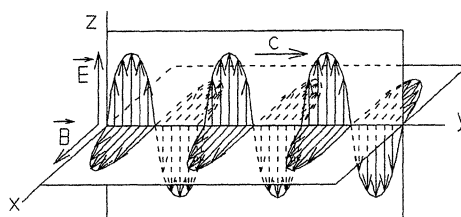
Solución:

Polarizar unha onda, no seu sentido máis amplo, consiste en limitar, dalgún modo, a forma libre de vibración das partículas do medio. Se conseguimos que a vibración teña lugar nun único plano dise que a onda está **polarizada linealmente**: as partículas afectadas pola onda efectúan vibracións nunha única dirección, perpendicular á de propagación.



Polo tanto, na polarización dunha onda, a frecuencia (que só depende do foco emisor) non se ve afectada e a onda polarizada, como toda onda, transporta enerxía.

A luz, como toda onda electromagnética, consiste na vibración, en planos perpendiculares, dun campo eléctrico $\vec{E}$ e doutro magnético $\vec{B}$, propagándose nunha dirección perpendicular á dirección perturbación: son ondas transversais. E o campo eléctrico oscila sempre no mesmo plano, que no caso dos gráfico sería o plano (y,z).



7.- Cando a luz atravesa a zona de separación de dous medios experimenta: a) difracción; b) refracción; c) polarización. (Xuño 06).

Solución:

a) A difracción consiste na propiedade que teñen as ondas para:

- Bordear os obxectos cando a lonxitude de onda é do orde de tamaño (ou maior) que o tamaño do obxecto a bordear.

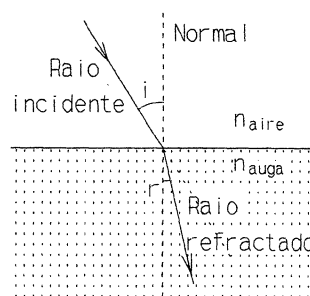
- Converterse nun novo foco emisor de ondas cando alcanza un burato de diámetro menor (ou parecido) á lonxitude de onda da onda que se propaga.

E a onda continúa no mesmo medio, condición que non se cumpre para o caso da cuestión.

b) Enténdese por **refracción dunha onda** o cambio de dirección que esta experimenta **cando pasa dun medio a outro de distinto índice de refracción.**

A relación entre o ángulo de incidencia, i , e de refracción, r , cando un raio de luz pasa desde un medio de índice de refracción n_1 a outro de índice de refracción n_2 , vén dada pola lei de Snell:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$



c) Polarizar unha onda, no seu sentido máis amplo, consiste en limitar, dalgún modo, a forma libre de vibración das partículas do medio, sen que a onda cambie de medio.

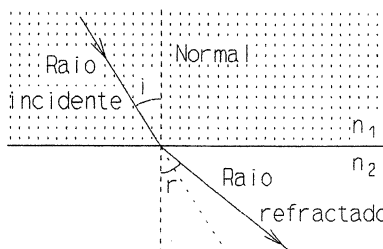
8.- Cando a luz incide na superficie de separación de dous medios cun ángulo igual ó

ángulo límite significa que: a) o ángulo de incidencia e o de refracción son complementarios; b) non se observa raio refractado; c) o ángulo de incidencia é maior que o de refracción. (Set. 05).

Solución:

Cando un raio luminoso pasa desde un medio 1, de índice de refracción n_1 , a outro medio 2, de índice de refracción n_2 , a relación entre o ángulo de incidencia (o formado polo raio incidente coa normal á superficie de separación dos dous medios), i , e o de refracción (o formado polo raio refractado coa normal), r , vén dada pola lei de Snell:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$$



Polo tanto, se $n_1 > n_2 \rightarrow \sin r > \sin i$ e $r > i$, e o raio refractado afástase da normal á superficie de separación dos dous medios, habendo un ángulo de incidencia, chamado **ángulo límite**, para o cal o ángulo de refracción é de 90° . Para ángulos de incidencia maiores ó ángulo límite non se produce refracción, tendo lugar soamente a reflexión, coñecéndose este feito como **reflexión total**.

Polo tanto, cando o ángulo de incidencia é igual ó ángulo límite:

- a) O ángulo de incidencia é o de refracción **non** son complementarios:
- b) Si deixa de observarse raio refractado.
- c) O ángulo de incidencia **non** é maior que o de refracción.

9.- O son dunha guitarra propágase como: a) unha onda mecánica transversal; b) unha onda electromagnética; c) unha onda mecánica lonxitudinal. (Set. 05).

Solución:

As ondas sonoras son **mecánicas** e necesitan un medio material para propagarse, dependendo a súa velocidade de propagación da natureza do medio. Polo tanto non se transmiten no baleiro, como lle ocorre ás ondas electromagnéticas.

As ondas sonoras aparecen como consecuencia dunha sucesión de compresións e dilatacións do medio en que se propagan, sendo **lonxitudinais** (elementos de volume do medio de propagación móvense paralelamente á dirección de propagación, coincidindo a dirección de propagación da onda coa súa dirección de perturbación). Ademais, o feito de que o son se propague en calquera tipo de medio (sólido, líquido e gasoso) indícanos que se trata dunha onda lonxitudinal, xa que as ondas mecánicas transversais só se propagan nos medios sólidos e superficialmente en líquidos debido a que precisan forzas de suficiente intensidade entre as partículas veciñas para que a propagación transversal teña lugar.

Polo tanto, **o son dunha guitarra propágase como unha onda mecánica lonxitudinal**.

10.- Nunha onda estacionaria xerada por interferencia de dúas ondas cúmprese: a) a amplitude é constante; b) a onda transporta enerxía; c) a frecuencia é a mesma que a das ondas

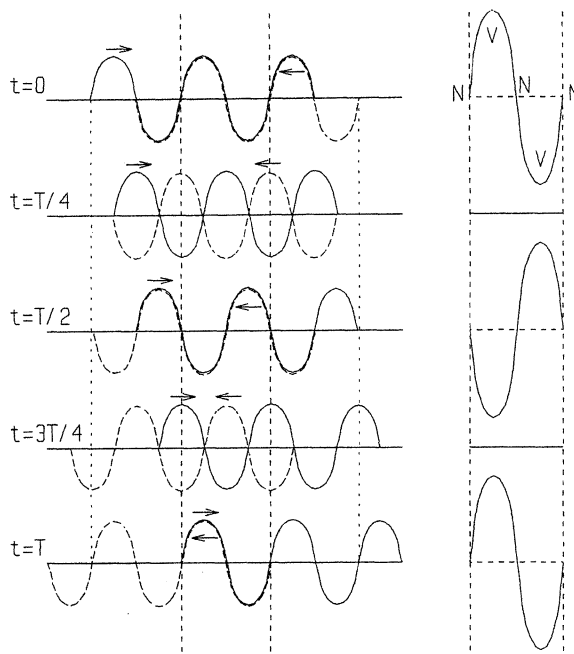
que interfieren. (Xuño 05).

Solución:

Unha onda estacionaria constitúe un caso particular de interferencia e fórmase cando se propagan, nun medio elástico e homoxéneo, coa mesma velocidade, na mesma dirección e en sentido contrario, dúas ondas harmónicas da mesma frecuencia, amplitude e lonxitude de onda; isto é: dúas ondas de idénticas características.

A **onda estacionaria** que resulta é harmónica e de igual frecuencia e lonxitude de onda que as ondas compoñentes, sendo a súa amplitude variable para cada punto. É o que sucede nunha corda, que está fixa por un dos seus extremos, cando no extremo libre se xera unha onda harmónica: a onda incidente e reflectida teñen as mesmas características.

Na figura aparecen dúas ondas harmónicas transversais unidimensionais que se propagan en sentido contrario, avanzando a representada en liña continua cara á dereita e a representada en liña discontinua cara á esquerda. Cada representación está feita, con respecto á anterior, cun avance de $1/4$ de lonxitude de onda ($\lambda/4$).



Obsérvase que hai puntos que permanecen sempre en repouso: son os nodos, estando distanciados media lonxitude de onda. Entre cada dous nodos e a mesma distancia hai un punto que vibra con amplitude máxima: son os ventres. Os demais puntos vibran con amplitudes intermedias e o seu valor depende da posición da partícula e non do tempo.

Como pode verse na figura, **todos os puntos alcanzados pola onda estacionaria adquieren ó mesmo tempo as posicións centrais, polo que todos eles (excepto os nodos) vibran coa mesma frecuencia.**

Como hai puntos (os nodos) que se atopan sempre en repouso, a **onda estacionaria** non viaxa e dá a impresión de que permanece fixa sobre a dirección de propagación e, polo tanto, **non transporta enerxía**, non podendo considerala como onda en sentido estrito (non implica un movemento de avance da perturbación).

Se as ecuacións das ondas que se propagan as expresamos como:

$$y_1(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$$

$$y_2(x, t) = A \sin(\omega t + kx)$$

o estado de perturbación resultante da interferencia vén dada por:

$$y(t) = A \sin(\omega t - kx) + A \sin(\omega t + kx)$$

Ó aplicar a fórmula de transformación dunha suma de dous senos nun produto de razóns trigonométricas resulta:

$$y(t) = 2 A \cos(kx) \sin(\omega t)$$

A fase desta ecuación é soamente temporal (como nos movementos harmónicos simples) e non presenta parte espacial (como nas funcións de onda), polo que esta ecuación non representa unha función de onda. Ademais, a amplitude das oscilacións non é a mesma para os distintos puntos, xa que depende de x : $2 A \cos(kx)$.

11.- Se o índice de refracción do diamante é 2,52 e o do vidro 1,27: a) a luz propágase con maior velocidade no diamante; b) o ángulo límite entre o diamante e o aire é menor que entre o vidro e o aire; c) cando a luz pasa do diamante ó vidro o ángulo de incidencia é maior que o ángulo de refracción. (Xuño 05).

Solución:

a) Para o caso de ondas electromagnéticas defínese o índice de refracción absoluto n dun medio material transparente como: $n = c/v$, sendo c a velocidade da luz no baleiro e v a velocidade da luz nese medio.

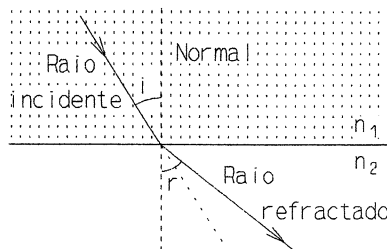
$$\left. \begin{array}{l} v_{\text{diamante}} = \frac{c}{n_{\text{diamante}}} \\ v_{\text{vidro}} = \frac{c}{n_{\text{vidro}}} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{v_{\text{diamante}}}{v_{\text{vidro}}} = \frac{\frac{c}{n_{\text{diamante}}}}{\frac{c}{n_{\text{vidro}}}} = \frac{n_{\text{vidro}}}{n_{\text{diamante}}} \rightarrow \frac{v_{\text{diamante}}}{v_{\text{vidro}}} = \frac{1,27}{2,52} \rightarrow v_{\text{diamante}} < v_{\text{vidro}}$$

$$n_{\text{diamante}} = 2,53$$

$$n_{\text{vidro}} = 1,27$$

b) Cando un raio luminoso pasa desde un medio 1, de índice de refracción n_1 , a un medio 2, de índice de refracción n_2 , a relación entre o ángulo de incidencia (o formado polo raio incidente coa normal á superficie de separación dos dous medios), i , e o de refracción (o formado polo raio refractado coa normal), r , vén dada

pola lei de Snell: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$.



Polo tanto, se $n_1 > n_2 \rightarrow \sin r > \sin i$ e $r > i$, e o raio refractado afástase da normal á superficie de separación dos dous medios, habendo un ángulo de incidencia, chamado **ángulo límite**, para o cal o ángulo de refracción é de 90° .

Para o caso de que a luz pase do diamante ó aire:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{aire}}}{n_{\text{diamante}}} \rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{2,52} \rightarrow \sin i < \sin r \rightarrow i < r$$

Cando $r = 90^\circ$, o ángulo de incidencia i é o ángulo límite:

$$\sin i_{\text{límite para o diamante -aire}} = \frac{1}{2,52} = 0,40$$

Para o caso de que a luz pase do vidro ó aire:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{aire}}}{n_{\text{vidro}}} \rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{1,27} \rightarrow \sin i < \sin r \rightarrow i < r$$

Cando $r = 90^\circ$, o ángulo de incidencia i é o ángulo límite:

$$\sin i_{\text{límite para o vidro-aire}} = \frac{1}{1,27} = 0,79$$

O resultado é que o ángulo límite entre o diamante e o aire é menor que entre o vidro e o aire.

c) Para o caso de que a luz pase do diamante ó vidro:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{vidro}}}{n_{\text{diamante}}} \rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1,27}{2,52} \rightarrow \sin i < \sin r \rightarrow i < r$$

12.- Tres cores da luz visible, o azul, o amarelo e o vermello, coinciden en que: a) posúen a mesma enerxía; b) posúen a mesma lonxitude de onda; c) propáganse no baleiro coa mesma velocidade. (Xuño 04).

Solución:

O que estimula o nervio óptico e nos fai percibir unha determinada cor é a frecuencia de vibración da onda electromagnética visible, podendo relacionar o valor da frecuencia dunha onda visible cunha determinada cor.

Os cuantos de enerxía que as ondas electromagnéticas intercambian (na súa interacción coa materia) mediante fotóns vén dada pola expresión: $E = h \cdot \nu$. Polo tanto, a enerxía da radiación de cada cor, ó corresponderlle unha frecuencia distinta, non é a mesma.

A velocidade de propagación c das ondas electromagnéticas vén dada pola expresión: $c = \lambda \cdot \nu$. Cando as ondas se propagan nun medio non dispersivo, que en sentido estricto só sería o baleiro, aínda que tamén se poden considerar como tal os gases a baixa presión, a medida que aumenta λ diminúe ν , e viceversa, sendo o produto destas dúas magnitudes constante, cun valor de 300.000 km/s.

Polo tanto, resulta que a resposta correcta é a c).

13.- O ángulo límite na refracción auga/aire é de $48,61^\circ$. Se se ten outro medio no que a velocidade da luz sexa $v_{\text{medio}} = 0,878 \cdot v_{\text{auga}}$, o novo ángulo límite (medio/aire) será: a) maior; b) menor; c) non se modifica. (Xuño 04).

Solución:

Cando unha onda electromagnética pasa desde un medio "1", de índice de refracción n_1 e velocidade v_1 , a un medio "2", de índice de refracción n_2 e velocidade v_2 , a relación entre o ángulo formado polo raio incidente co normal á superficie de separación dos dous medios (ángulo de incidencia, i) e o ángulo formado polo raio refractado coa normal, (ángulo de refracción, r), vén dada pola lei de Snell:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Para os datos da cuestión resulta:

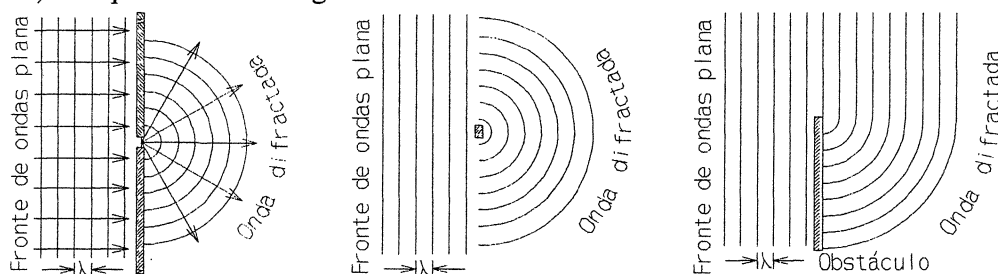
$$\left. \begin{array}{l} \frac{\sin i_{\text{auga}}}{\sin r_{\text{aire}}} = \frac{v_{\text{auga}}}{v_{\text{aire}}} \\ \frac{\sin i_{\text{medio}}}{\sin r_{\text{aire}}} = \frac{v_{\text{medio}}}{v_{\text{aire}}} \end{array} \right\} \rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{\sin i_{\text{auga}}}{\sin i_{\text{medio}}} = \frac{v_{\text{auga}}}{v_{\text{medio}}} = \frac{1}{0,878} \\ v_{\text{medio}} = 0,878 v_{\text{auga}} \end{array} \right\} \rightarrow i_{\text{auga}} > i_{\text{medio}}$$

14.- A posibilidade de oír detrás dun obstáculo sons procedentes dunha fonte sonora, que se atopa fóra da nosa vista, é un fenómeno de: a) polarización; b) difracción; c) refracción. (Set. 03).

Solución:

Cando unha onda atopa un obstáculo ou atravesa un burato de menor tamaño ou de dimensións comparables á da lonxitude de onda, λ , aparece o **fenómeno de difracción**. É característico do movemento ondulatorio e consiste en que a onda se "abre" no burato ou bordea o obstáculo, propagándose ó seu arredor.

Cando o foco emisor da onda está a gran distancia do burato que atravesa ou do obstáculo co que se encontra, a fronte de ondas é plana e represéntase con rectas paralelas. A onda emerxente (difractada) é a que se indica no gráfico.



15.- A enerxía dunha onda é proporcional: a) ó cadrado da amplitude; b) á inversa da frecuencia; c) á lonxitude de onda. (Xuño 03).

Solución:

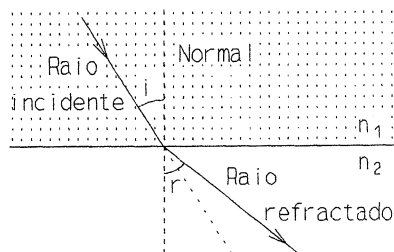
A enerxía, E , que transporta unha onda material harmónica unidimensional vén dada pola expresión: $E = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot A^2 \cdot \nu^2$, sendo m a masa da partícula que oscila, A a amplitude e ν a súa frecuencia. Nesta expresión vemos que E é **directamente proporcional ó cadrado da amplitude** (ítem a).

16.- Un raio luminoso que viaxa por un medio do que o índice de refracción é n_1 , incide con certo ángulo sobre a superficie de separación dun segundo medio de índice n_2 ($n_1 > n_2$). Respecto do ángulo de incidencia, o de refracción será: a) igual; b) maior; c) menor. (Set. 02).

Solución:

Cando un raio luminoso pasa desde un medio 1, de índice de refracción n_1 , a outro medio 2,

de índice de refracción n_2 , a relación entre o ángulo de incidencia (o formado polo raio incidente coa normal á superficie de separación dos dous medios), i , e o de refracción (o formado polo raio refractado coa normal), r , vén dada pola lei de Snell: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$.

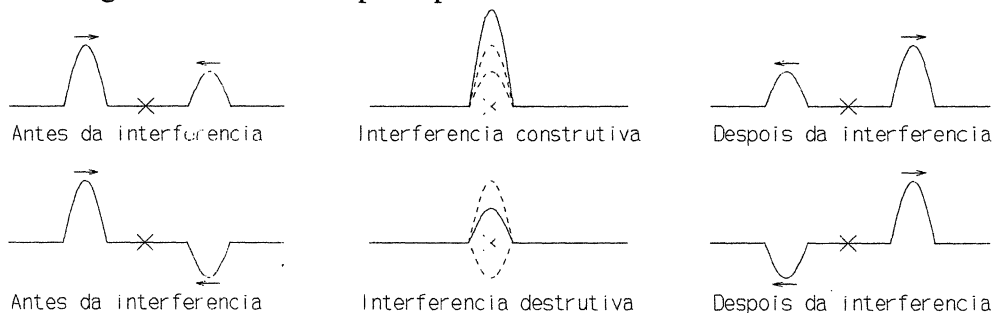


Polo tanto, se $n_1 > n_2$ resulta que $\sin r > \sin i$ e, en consecuencia, $r > i$: **O ángulo de refracción é maior que o ángulo de incidencia**, como corresponde ó ítem b) da cuestión.

17. Cando interfíren nun punto dúas ondas harmónicas coherentes, presentan interferencia construtiva se a diferenza de percorridos, Δr , é: a) $\Delta r = (2n + 1) \cdot \lambda/2$; b) $\Delta r = (2n + 1) \cdot \lambda$; c) $\Delta r = n \lambda$ (sendo $n = 0, 1, 2$, etc. e λ a lonxitude de onda). (Set. 02).

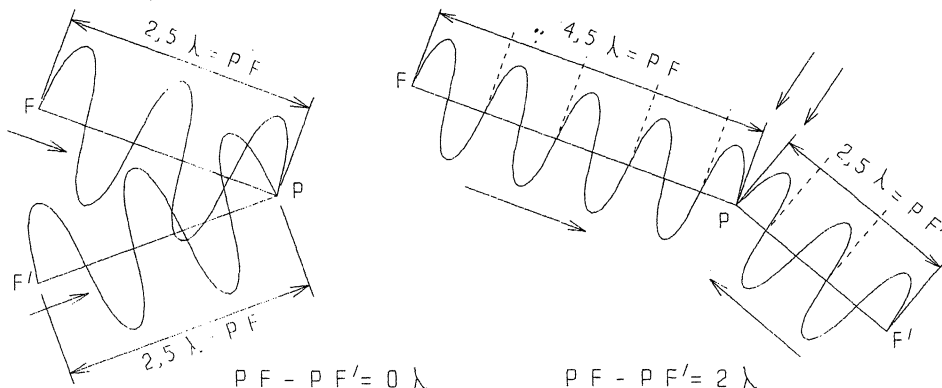
Solución:

A superposición de dúas ou máis ondas nun punto coñécese como interferencia e a perturbación resultante é a suma das perturbacións que produciría cada onda por separado. Nos puntos onde as ondas ó superpoñerse posúen elongacións do mesmo sentido, a elongación resultante é maior que a que corresponde a cada onda por separado e a interferencia dise que é construtiva. Nos puntos nos que as elongacións das ondas que interfíren son de sentido contrario, a elongación resultante é menor que a elongación de cada onda por separado e a interferencia é destrutiva.



Cando a diferenza de fase das ondas que se propagan é constante no tempo, dise que as ondas son coherentes.

Por sinxeleza estudaremos graficamente a interferencia de dúas ondas que, ademais de ser coherentes, teñan a mesma frecuencia, lonxitude de onda, amplitude e fase inicial (ó ser emitidas polos focos F e F'). Para que estas ondas interfíran construtivamente nun punto P é necesario que a diferenza de camiños que percorren sexa de 0λ , 1λ , 2λ , 3λ , ... É dicir, un número enteiro de lonxitudes de onda: $n\lambda$, sendo n un número enteiro.



Para o caso das ondas que se representan nos debuxos, vemos que a elongación máxima á que está sometida a partícula P na que interfíren as dúas ondas é dobre da que lle causa unha soa das ondas, tratándose dunha interferencia construtiva.

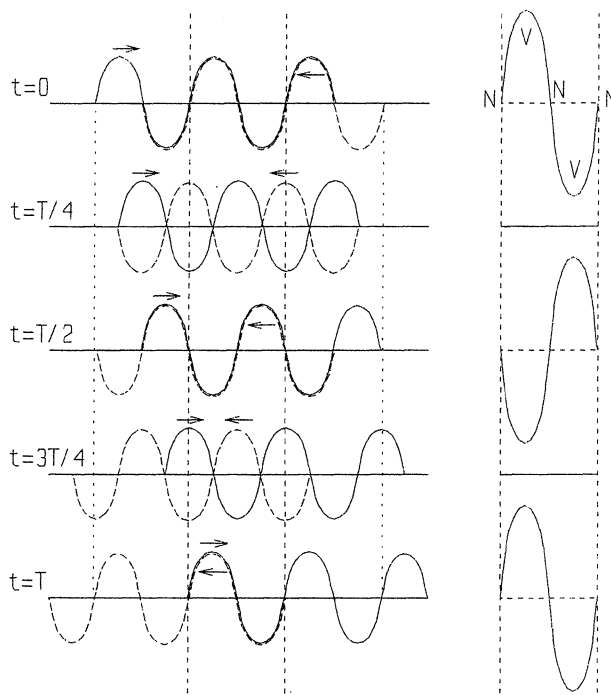
18.- Cando a interferencia de dúas ondas orixina unha onda estacionaria, esta cumpre: a) a súa frecuencia duplícase; b) a súa amplitude posúe máximos e nulos cada $\lambda/4$; c) transporta enerxía proporcional ao cadrado da frecuencia. (Xuño 02).

Solución:

As ondas estacionarias constitúen un caso particular de interferencia e fórmanse cando se propagan, nun medio elástico e homoxéneo, co mesmo valor de velocidade, na mesma dirección e en sentidos contrarios, dúas ondas harmónicas da mesma frecuencia, amplitude e lonxitude de onda; isto é: dúas ondas de idénticas características.

A onda estacionaria que resulta é harmónica e de **igual frecuencia** e lonxitude de onda que as ondas compoñentes, sendo a súa **amplitude variable para cada punto**. É o que sucede nunha corda que está fixa por un dos seus extremos cando no extremo libre se xera unha onda: a onda incidente e reflectida teñen as mesmas características.

Na figura aparecen dúas ondas harmónicas transversais unidimensionais que se propagan en sentido contrario, avanzando a representada coa liña continua cara á dereita e a representada con liña discontinua cara á esquerda. Cada representación está feita, con respecto á anterior, cun avance de $1/4$ de lonxitude de onda ($\lambda/4$).



Obsérvase que hai puntos que permanecen sempre en repouso: son os nodos, estando distanciados media lonxitude de onda. Entre cada dous nodos e á mesma distancia hai un punto que vibra con amplitude máxima: son os ventres. Os demais puntos vibran con amplitudes intermedias e o seu valor depende da posición da partícula e non do tempo. Polo tanto, a **amplitude da onda estacionaria posúe máximos e nulos cada $\lambda/4$** .

Como os nodos están sempre en repouso, a onda non viaxa (de aí o nome de onda estacionaria) e a **enerxía non se propaga**, non sendo unha onda en sentido estrito (non implica un movemento de avance da perturbación) como imos ver:

Se as ecuacións das ondas que se propagan as expresamos como:

$$y_1(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$$

$$y_2(x, t) = A \sin(\omega t + kx)$$

o estado de perturbación resultante da interferencia vén dada por:

$$y(t) = A \sin(\omega t - kx) + A \sin(\omega t + kx)$$

Ó aplicar a fórmula de transformación dunha suma de dous senos nun produto de razóns trigonométricas resulta:

$$y(t) = 2 A \cos(kx) \sin(\omega t)$$

A fase desta ecuación é soamente temporal (como nos movementos harmónicos simples) e non presenta parte espacial (como nas funcións de onda), polo que esta ecuación non representa unha función de onda. Ademais, a amplitude das oscilacións non é a mesma para os distintos puntos, xa que depende de x : $2 A \cos(kx)$.

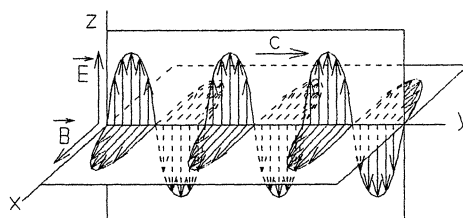
19.- Das seguintes ondas, cales poden ser polarizadas?: a) ondas sonoras; b) luz visible; c) ondas producidas na superficie da auga. (Xuño 02).

Solución:

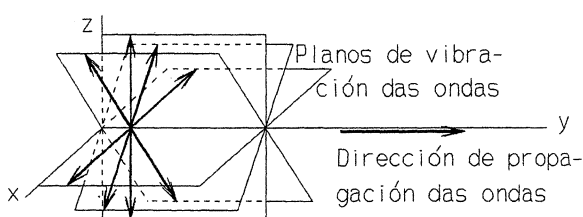
Polarización dunha onda, no seu sentido máis amplo, consiste en limitar, dalgún modo, a forma libre de vibración das partículas do medio. Se conseguimos que a vibración teña lugar nun único plano dise que a onda está polarizada linealmente: as partículas afectadas pola onda efectúan vibracións nunha única dirección, perpendiculares á de propagación.

No caso do son, que é unha onda lonxitudinal, non ten sentido falar de polarización, xa que a dirección de vibración coincide coa dirección de propagación (ó eliminar unha dirección de vibración eliminamos a onda nesa dirección).

A luz visible é unha onda electromagnética e, como toda onda electromagnética, consiste na vibración, en planos perpendiculares, dun campo eléctrico $\vec{E}$ e doutro magnético $\vec{B}$, propagándose nunha dirección perpendicular á dirección de perturbación: son ondas transversais.



As ondas electromagnéticas que emite un foco luminoso orixínanse nos átomos (ou moléculas) que forman o foco e cada átomo ó vibrar irradia unha onda, co seu campo eléctrico $\vec{E}$ (e magnético, $\vec{B}$) orientado nunha determinada dirección, que está nun único plano, que é perpendicular á súa dirección de propagación. Pero como o foco está formado por un gran número de átomos (moléculas) que vibran en todas as direccións, a radiación resultante é unha superposición das ondas producidas polos átomos individuais e se a dirección de propagación é a do eixe y, os campos eléctricos (e magnéticos) das ondas individuais vibran en múltiples direccións do plano xz. Na figura adxunta represéntanse as direccións de vibración, e os seus correspondentes planos de vibración, do campo eléctrico de varias ondas.



Polo tanto, unha radiación luminosa pode considerarse como un eixe arredor do cal se efectúan vibracións electromagnéticas en todas as direccións perpendiculares ó eixe. Cando se elimina algunha das direccións de vibración conseguimos unha luz polarizada. Se se eliminan todas as direccións de vibración do campo eléctrico (e magnético), excepto as que teñan lugar nunha dirección determinada, obtense unha onda polarizada linealmente. É o que se representa no primeiro dos

gráficos e é o que ocorre nas ondas electromagnéticas que emite unha antenna: o vector campo eléctrico vibra nun plano que contén á antenna.

Polo tanto, no caso de 1 onda luminosa, o campo eléctrico (e magnético) vibra nunha única dirección, que é perpendicular á dirección de propagación, estando linealmente polarizada; pero **unha radiación luminosa, formada por moitas ondas luminosas** (que cada unha delas vibra en distintos planos), **pode ser polarizada**.

Nas ondas producidas na superficie da auga, a dirección de vibración é vertical e a perturbación avanza na dirección horizontal (onda transversal). Como nesta onda a vibración soamente ten lugar nunha única dirección, de eliminar a dirección de vibración desaparecería a onda, polo que non é unha onda polarizable.

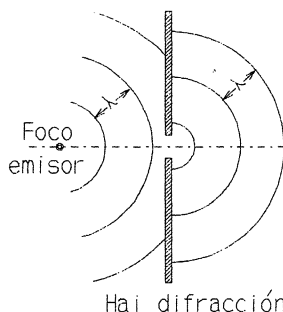
20.- Cando un movemento ondulatorio se atopa na súa propagación cunha fenda de dimensións pequenas comparables ás da súa lonxitude de onda prodúcese: a) polarización; b) onda estacionaria; c) difracción. (*Xuño 01*).

Solución:

Polarizar dunha onda, no seu sentido máis amplo, consiste en limitar dalgún modo a forma libre de vibración das partículas do medio. Que un movemento ondulatorio atope na súa propagación unha fenda non significa a eliminación dalgunha dirección de vibración e, en consecuencia, que se produza polarización.

As ondas estacionarias fórmanse cando se propagan, nun medio elástico e homoxéneo, co mesmo valor de velocidade, na mesma dirección e en sentido contrario, dúas ondas harmónicas da mesma frecuencia, amplitude e lonxitude de onda. Polo tanto, do feito de que unha onda atravesase unha fenda non aparece unha onda estacionaria.

Unha onda que pasa por un burato experimenta o fenómeno de difracción cando a lonxitude de onda, λ , da onda que se propaga é maior ou dun tamaño parecido ó diámetro do burato que atravesa. Como nas condicións da cuestión a lonxitude de onda da onda que se propaga é maior que as dimensións da fenda, **prodúcese o fenómeno de difracción**.



21.- A enerxía que transporta unha onda é proporcional: a) á frecuencia, b) á amplitude, c) ós cadrados da frecuencia e amplitude. (*Set. 00*).

Solución:

A enerxía, E , que transporta unha onda material harmónica unidimensional vén dada pola expresión: $E = 2 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot A^2 \cdot \nu^2$, sendo m a masa da partícula que oscila, A a amplitude e ν a súa frecuencia. Nesta expresión vemos que E é **directamente proporcional ós cadrados da amplitude e da frecuencia** (ítem c) e, en consecuencia, tamén é proporcional (non directamente proporcional) á frecuencia (ítem a) e á amplitude (ítem b).

22.- Cal das expresións propostas representa unha onda transversal que se propaga no

sentido positivo do eixe x cunha velocidade de 5 m s^{-1} , ten unha amplitude de 1 m e unha frecuencia de 10 Hz ? a) $y = \cos 2 \pi (10 t - 5 x)$, b) $y = \cos 2 \pi (10 t + x)$, c) $y = \cos 4 \pi (5 t - x)$. (Xuño 00).

Solución:

A ecuación dunha onda harmónica unidimensional transversal, que se propaga ó longo do eixe x , no seu sentido positivo, e que a vibración ten lugar na dirección do eixe y , é:

$$y(x, t) = A \cos \left[2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot x \right],$$

sendo: A , a amplitude; ν , a frecuencia; t , o instante no que se estuda a perturbación; λ , a lonxitude de onda e x a posición do punto do cal se estuda a súa elongación y . Relacionamos agora estas magnitudes cos datos da cuestión:

$$A = 1 \text{ m}$$

$$\nu = 10 \text{ Hz}$$

$$\left. \begin{array}{l} \nu = 5 \text{ m s}^{-1} \\ \nu = \frac{x}{t} \rightarrow \nu = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu \end{array} \right\} \rightarrow 5 = \lambda \cdot 10 \rightarrow \lambda = 0,5 \text{ m}$$

Levando estes datos á ecuación de onda resulta: $y(x, t) = 1 \cdot \cos(20 \cdot \pi \cdot t - 4 \cdot \pi \cdot x)$, que corresponde ó ítem c) da cuestión.

23. A ecuación dunha onda transversal que se propaga a través dunha corda é $\psi = 0,1 \text{ sen}[2 \cdot \pi \cdot (0,4 t - 6,25 x)]$ (sistema internacional). Determina: a) a amplitude, lonxitude de onda, frecuencia, constante e velocidade de propagación; b) velocidade e aceleración transversal das partículas do medio en $x = 0$, $t = T/2$. (Set. 99).

Solución:

a) A ecuación dunha onda harmónica unidimensional que se propaga a través dunha corda no sentido positivo do eixe x e que a vibración ten lugar na dirección do eixe y é:

$$y(x, t) = A \text{ sen}(\omega \cdot t - k \cdot x) = A \text{ sen} \left[2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot t - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot x \right]$$

Comparando esta ecuación coa ecuación de onda da cuestión, $\psi = 0,1 \text{ sen}[2 \cdot \pi \cdot (0,4 t - 6,25 x)]$, resulta:

$$A = 0,1 \text{ m}$$

$$\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} = 2 \cdot \pi \cdot 6,25 \rightarrow \lambda = \frac{1}{6,25} \text{ m}$$

$$2 \cdot \pi \cdot \nu = 2 \cdot \pi \cdot 0,4 \rightarrow \nu = 0,4 \text{ Hz}$$

$$k = 2 \cdot \pi \cdot 6,25 \rightarrow k = 12,50 \cdot \pi \text{ m}^{-1}$$

$$v = \frac{x}{t} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow v = \lambda \cdot \nu \rightarrow v = \frac{1}{6,25} \cdot 0,4 \rightarrow v = 0,064 \text{ m s}^{-1}$$

b) A velocidade transversal de vibración das partículas obtense derivando a ecuación de onda:

$$v_{\text{transversal}} = \frac{d}{dt} \left\{ 0,1 \cdot \sin \left[2 \cdot \pi \cdot (0,4 \cdot t - 6,25 \cdot x) \right] \right\}$$

$$v_{\text{transversal}} = 0,1 \cdot \cos \left[2 \cdot \pi \cdot (0,4 \cdot t - 6,25 \cdot x) \right] \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,4$$

$$v_{\text{transversal}} = 0,08 \cdot \pi \cdot \cos \left[2 \cdot \pi \cdot (0,4 \cdot t - 6,25 \cdot x) \right]$$

Para $x = 0$ e $t = T/2$ resulta:

$$v_{\text{transversal}} = 0,08 \cdot \pi \cdot \cos \left[2 \cdot \pi \cdot \left(0,4 \cdot \frac{1}{2} - 6,25 \cdot 0 \right) \right]$$

$$v_{\text{transversal}} = 0,08 \cdot \pi \cdot \cos \pi \rightarrow v_{\text{transversal}} = -0,08 \cdot \pi \text{ m s}^{-1}$$

Derivando a velocidade de vibración das partículas obtemos a aceleración:

$$a = \frac{dv}{dt} \rightarrow a = \frac{d}{dt} \left\{ 0,08 \cdot \pi \cdot \cos \left[2 \cdot \pi \cdot (0,4 \cdot t - 6,25 \cdot x) \right] \right\}$$

$$a = -0,08 \cdot \pi \cdot \sin \left[2 \cdot \pi \cdot (0,4 \cdot t - 6,25 \cdot x) \right] \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,4$$

$$a = -0,064 \cdot \pi^2 \cdot \sin \left[2 \cdot \pi \cdot (0,4 \cdot t - 6,25 \cdot x) \right]$$

Para $x = 0$ e $t = T/2$ resulta:

$$a = -0,064 \cdot \pi^2 \cdot \sin \left[2 \cdot \pi \cdot \left(0,4 \cdot \frac{1}{2} - 6,25 \cdot 0 \right) \right]$$

$$a = -0,064 \cdot \pi^2 \cdot \sin \pi \rightarrow a = 0 \text{ m s}^{-2}$$

24.- As ondas sonoras cumpren algunha das seguintes características: a) son transversais; b) son lonxitudinais; c) transmitense no baleiro. (Xuño 99).

Solución:

As ondas sonoras son mecánicas, necesitando un medio material para propagarse, dependendo a súa velocidade de propagación da natureza do medio. Polo tanto non se transmiten no baleiro.

As ondas sonoras aparecen porque as vibracións do foco emisor se propagan ás partículas do

medio en que se encontra e estas transmítenas dunhas a outras e tamén ós outros medios que están en contacto.

Podemos dicir que **as ondas sonoras** aparecen como consecuencia dunha sucesión de compresións e dilatacións do medio en que se propagan, sendo **lonxitudinais** (elementos de volume do medio de propagación móvense paralelamente á dirección de propagación, coincidindo a dirección de propagación da onda coa súa dirección de perturbación).

25.- Nun movemento ondulatorio que se propaga a velocidade constante, a frecuencia e a lonxitude de onda: a) son independentes, b) están relacionadas, c) están relacionadas só se a onda se propaga nun medio material. (Set. 98).

Solución:

A velocidade, v , de propagación dunha onda (xa sexa mecánica ou electromagnética) vén dada pola expresión: $v = \lambda \cdot \nu$, sendo ν a frecuencia da onda e λ a súa lonxitude de onda. Se v é constante e λ varía, necesariamente ten que variar ν de modo que o produto $\lambda \cdot \nu$ sexa constante. Polo tanto, **as magnitudes λ e ν están relacionadas**, independentemente de que a onda sexa material ou electromagnética.

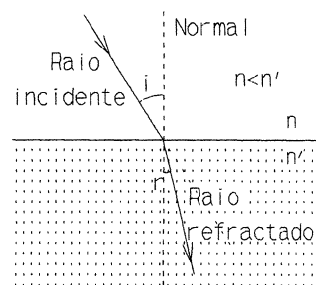
26.- Un raio luminoso que viaxa por un medio de índice de refracción n , incide con certo ángulo sobre a superficie de separación dun segundo medio de índice n' ($n' > n$). Respecto do ángulo de incidencia, o de refracción será: a) igual, b) maior, c) menor. (Xuño 97).

Solución:

A relación entre o ángulo formado polo raio incidente coa normal á superficie de separación de dous medios de índices de refracción n e n' (ángulo de incidencia, i) e o ángulo formado polo raio refractado coa normal, (ángulo de refracción, r) vén dada pola lei de Snell: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n'}{n}$.

Tendo en conta a relación dos valores dos índices de refracción dos dous medios polos que se propaga a onda resulta:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n'}{n} \\ n' > n \end{array} \right\} \rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} > 1 \rightarrow \sin i > \sin r \rightarrow i > r$$



O resultado é que **o ángulo de refracción respecto ó ángulo de incidencia é menor**, como aparece no ítem c) da cuestión.

27.- Dos seguintes tipos de ondas dicir cal non é capaz de transportar enerxía, a) as ondas lonxitudinais, b) as ondas transversais, c) as ondas estacionarias. (Set. 96).

Solución:

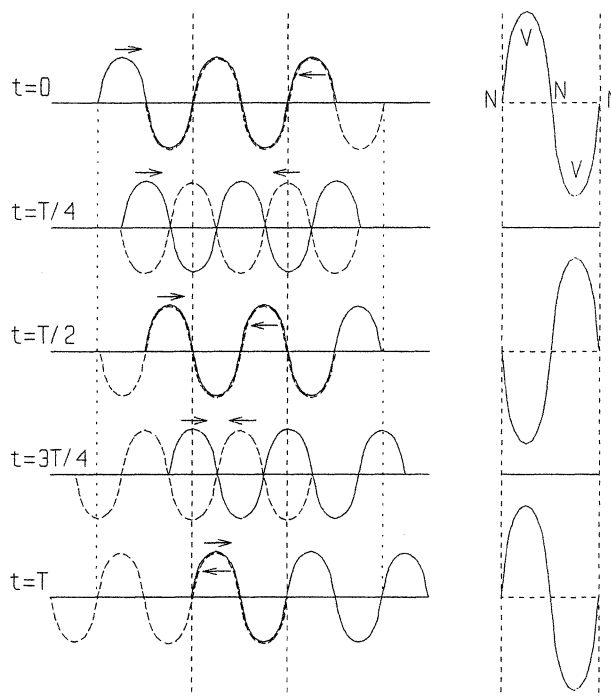
Sabemos que o movemento ondulatorio é a propagación dunha perturbación con transporte

de enerxía pero non de masa. Os conceptos de lonxitudinal e transversal aplicados a unha onda só fan referencia á relación que garda a dirección de propagación da perturbación con respecto á dirección de vibración.

As ondas estacionarias constitúen un caso particular de interferencia e fórmanse cando se propagan, nun medio elástico e homoxéneo, coa mesma velocidade, na mesma dirección e en sentido contrario, dúas ondas harmónicas da mesma frecuencia, amplitude e lonxitude de onda; isto é: dúas ondas de idénticas características.

A onda estacionaria que resulta é harmónica e de igual frecuencia e lonxitude de onda que as ondas compoñentes, sendo a súa amplitude variable para cada punto. É o que sucede nunha corda, que está fixa por un dos seus extremos, cando no extremo libre se xera unha onda harmónica: a onda incidente e reflectida teñen as mesmas características.

Na figura aparecen dúas ondas harmónicas transversais unidimensionais que se propagan en sentido contrario, avanzando a representada en liña continua cara á dereita e a representada en liña discontinua cara á esquerda. Cada representación está feita, con respecto á anterior, cun avance de $1/4$ de lonxitude de onda ($\lambda/4$).



Obsérvase que hai puntos que permanecen sempre en repouso: son os nodos, estando distanciados media lonxitude de onda. Entre cada dous nodos e a mesma distancia hai un punto que vibra con amplitude máxima: son os ventres. Os demais puntos vibran con amplitudes intermedias e o seu valor depende da posición da partícula e non do tempo.

Como hai puntos (os nodos) que se atopan sempre en repouso, a **onda estacionaria** non viaxa e dá a impresión de que permanece fixa sobre a dirección de propagación e, polo tanto, **non transporta enerxía**, non podendo considerala como onda en sentido estrito (non implica un movemento de avance da perturbación).

Se as ecuacións das ondas que se propagan as expresamos como:

$$y_1(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$$

$$y_2(x, t) = A \sin(\omega t + kx)$$

o estado de perturbación resultante da interferencia vén dada por:

$$y(t) = A \sin(\omega t - kx) + A \sin(\omega t + kx)$$

Ó aplicar a fórmula de transformación dunha suma de dous senos nun produto de razóns trigonométricas resulta:

$$y(t) = 2 A \cos(kx) \sin(\omega t)$$

A fase desta ecuación é soamente temporal (como nos movementos harmónicos simples) e non presenta parte espacial (como nas funcións de onda), polo que esta ecuación non representa unha

función de onda. Ademais, a amplitude das oscilacións non é a mesma para os distintos puntos, xa que depende de x : $2 A \cos(kx)$.

28.- Considéranse dúas ondas de radio, unha en onda media (AM) de 1000 kHz e outra en frecuencia modulada (FM) de 100 MHz; a) a onda de AM ten maior lonxitude de onda ca de FM; b) a onda de AM ten menor lonxitude ca de FM; c) todas as ondas de radio teñen igual lonxitude de onda. (Xuño 96).

Solución:

Sabemos que a velocidade de propagación das ondas de radio (ondas electromagnéticas) no baleiro é constante e vale 300000 km/s. E a relación que hai entre a velocidade, c , a lonxitude de onda, λ , e a frecuencia, ν , dunha onda vén dada pola expresión: $c = \lambda \cdot \nu$.

Substituíndo na igualdade anterior o valor da frecuencia para o caso da onda media (AM) e para o da onda de frecuencia modulada (FM) resulta:

$$\left. \begin{array}{l} v_{AM} = \lambda_{AM} \cdot 1000 \cdot 10^3 \\ v_{FM} = \lambda_{FM} \cdot 100 \cdot 10^6 \\ v_{AM} = v_{FM} \end{array} \right\} \rightarrow \lambda_{AM} \cdot 1000 \cdot 10^3 = \lambda_{FM} \cdot 100 \cdot 10^6 \rightarrow \frac{\lambda_{AM}}{\lambda_{FM}} = 10^2$$

En consecuencia, a onda de AM ten maior lonxitude de onda ca de FM ($\lambda_{AM} = 10^2 \cdot \lambda_{FM}$), situación que se corresponde co ítem a) da cuestión.