PAC

Preparación Acceso a CFGS

Física

Vibraciones y ondas. Óptica: Propiedades de las ondas

1. El principio de Huygens

Alrededor de 1860 el físico danés Christiaan Huygens propuso un mecanismo muy útil y bastante sencillo para entender muchos de los fenómenos relacionados con la propagación de las ondas como la interferencia, la reflexión o la refracción.

Este mecanismo es conocido como **principio de Huygens** y básicamente explica cómo tiene lugar la propagación de una onda: cuando las partículas de un medio material son alcanzadas por una onda, estos puntos se vuelven a comportar como un foco emisor de ondas, creando una serie de ondas secundarias. El resultado global de todos estos puntos emitiendo ondas a la vez será la de un nuevo frente de ondas similar al anterior, con lo que la onda se irá propagando sucesivamente.

Grabación de animación de Educaplus

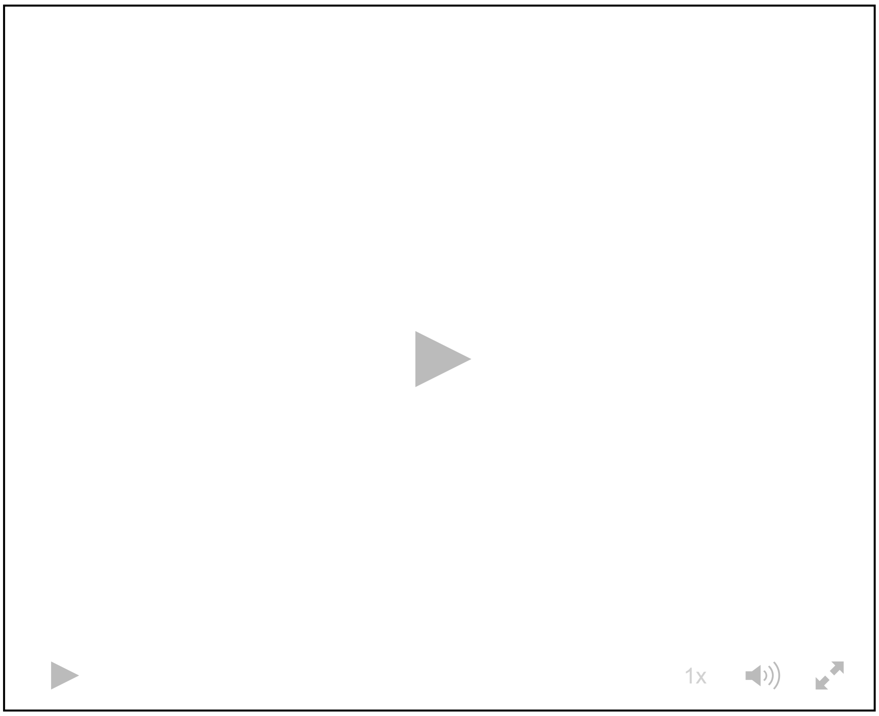
Un frente de onda es una superficie que pasa por todos los puntos del medio alcanzados por el movimiento ondulatorio en el mismo instante. La perturbación en todos esos puntos tiene la misma fase. Podemos trazar una serie de líneas perpendiculares a los sucesivos frentes de onda. Estas líneas se denominan **rayos** y corresponden a las líneas de propagación de la onda.

En la siguiente animación puedes ver cómo visualizaba Huygens el fenómeno de la reflexión (que estudiaremos más adelante), por ejemplo en la superficie de un espejo:

Grabación de simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

Observa que los rayos que utilizamos con frecuencia para representar a una onda son perpendiculares al frente de ondas. En el caso de la reflexión el ángulo con que incide la onda es igual que el ángulo con el que se refleja.

Cuando el medio al que llega la onda es transparente, como el vidrio o el agua, además de la reflexión también se produce el fenómeno de la refracción, debido al cambio de velocidad de propagación de la onda en distintos medios. En el siguiente simulador puedes ver cómo se explica este fenómeno mediante el principio de Huygens:



Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

debido a que la onda viaja a diferente velocidad en los dos medios, el angulo de refracción no es igual al de incidencia. Más adelante veremos qué relación guardan ambos ángulos.

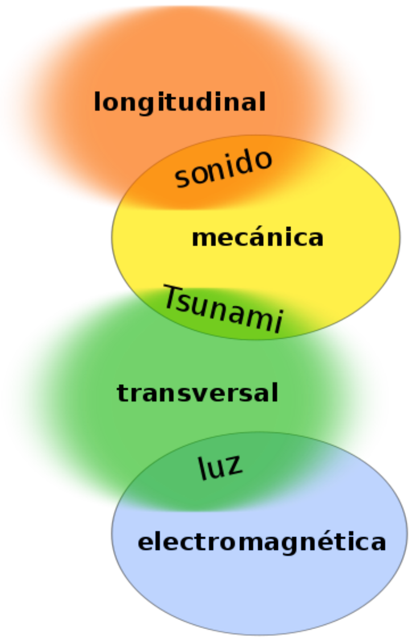


Imagen de Josell7 en Wikimedia. CC

El tema de las ondas suele resultar dificultoso porque los fenómenos ondulatorios más comunes lo constituyen el sonido y la luz y en ninguno de ellos es posible visualizar las ondas mismas.

En los laboratorios contamos con aparatos como la "cubeta de ondas", los osciloscopios o los generadores de ondas en cuerdas que nos ayudan a visualizar y comprender las ondas. Recuerda que todas las ondas, ya sean mecánicas o electromagnéticas, se comportan en forma similar.

En este tema vamos a estudiar los fenómenos más significativos relacionados con las ondas.En algunos casos se tratará de fenómenos relacionados con la diferente velocidad de propagación de las ondas en diferentes medios materiales. En otros casos estudiaremos la interferencia entre ondas que alcanzan un punto en el mismo instante.

2. El principio de superposición

Es un hecho experimental que muchas clases de ondas pueden atravesar el mismo espacio independientemente unas de otras. Esto significa que la elongación de una sola partícula es la suma de las elongaciones que las ondas individuales le producirían.

El proceso de suma vectorial de las elongaciones de una partícula se llama superposición. Por ejemplo, al escuchar una orquesta se pueden distinguir las frecuencias emitidas por los distintos instrumentos. Así, cuando las ondulaciones de la superficie del agua se entrecruzan, las olas se refuerzan en unas zonas y en otras parece que se anulan.

La mayoría de las ondas obedecen al Principio de Superposición que establece que la onda resultante nueva se obtiene como suma de las dos ondas individuales.

Imagen de brewbooks en Flickr. CC

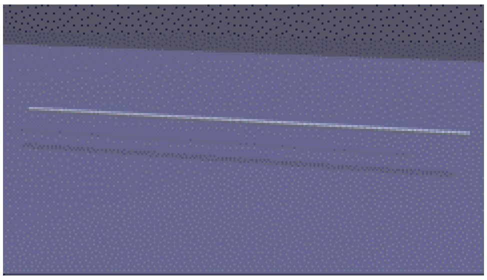
La combinación de ondas para formar una onda resultante, de la superposición de cada una de ellas, es un fenómeno llamado **interferencia**, característico de los movimientos ondulatorios. La posibilidad de producir interferencias es un buen criterio para determinar si un fenómeno posee características ondulatorias.

Importante

Principio de Superposición

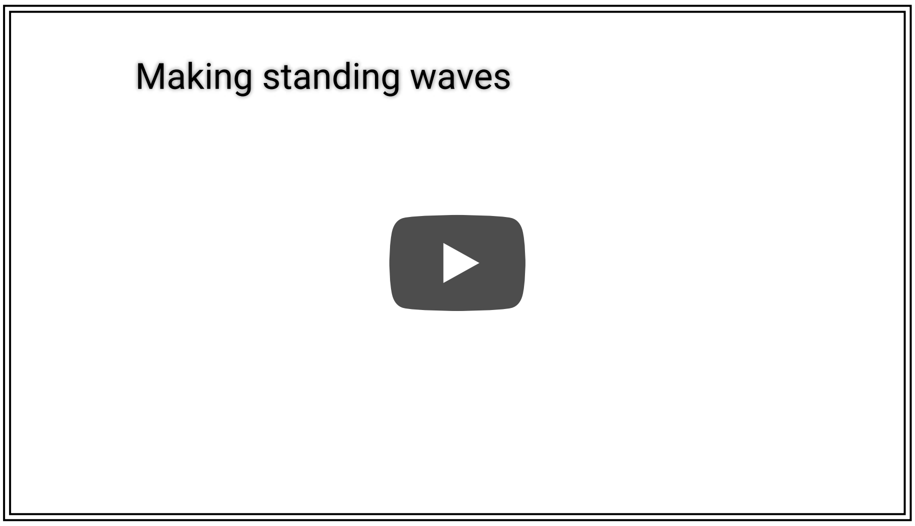
Principio de Superposición:

Si en un medio se propagan dos o más ondas, éstas superpondrán sus efectos en los puntos en que coincidan y continuarán después independientemente la una de la otra como si no se hubieran superpuesto.



Animación de Snaily en Wikipedia. CC0

Al superponerse el resultado puede ser una interferencia constructiva o destructiva, pero también se pueden producir ondas estacionarias, caso particular que estudiaremos más adelante.



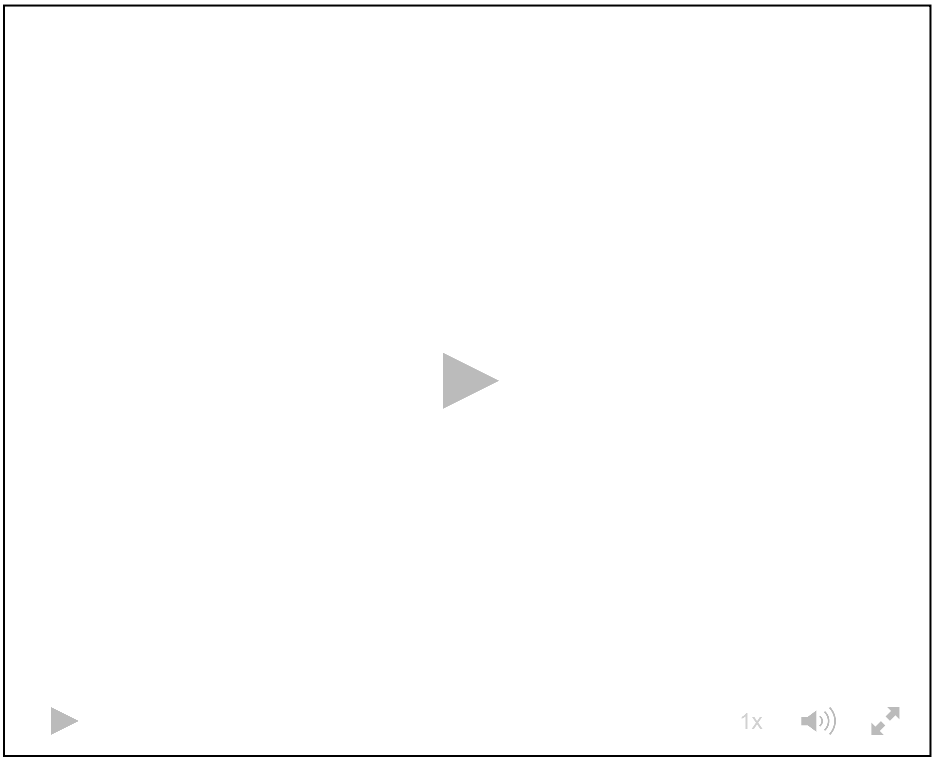
Vídeo de froudedude alojado en Youtube

En el vídeo, la onda estacionaria (minuto 1:13) se consigue mediante el envío de un grupo de olas por el tanque contra una pared fija. Las ondas reflejadas se superponen a las ondas incidentes produciéndose la interferencia entre ambas.

2.1 Interferencia entre dos ondas

Las ondas que interfieren pueden proceder de dos fuentes distintas. Nosotros vamos a estudiar un caso muy importante que es cuando las ondas que interfieren proceden de dos fuentes síncronas. En este caso se trata de ondas coherentes, es decir, con longitud de onda, frecuencia y amplitud iguales, y sus fases o bien son iguales, o bien presentan una cierta discrepancia que permanece constante. En este caso la interferencia es detectable y presenta un patrón permanente en el que hay mucha diferencia entre la intensidad de los máximos y los mínimos.

Si la diferencia de distancias recorridas desde la fuente es un **número entero de longitudes de onda**, las ondas están en fase y la interferencia será **constructiva**. En los puntos que se cumple la condición se produce un máximo. Es decir, la condición de máximo es: $\Delta r = n \cdot \lambda$



Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

Si la diferencia de distancias recorridas desde la fuente es un **número impar de semilongitudes de onda**, las ondas están desfasadas en π y la interferencia será **destructiva**. En los puntos que se cumple la condición se produce un mínimo. Es decir, la condición de mínimo es: $\Delta r = (2n+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$

Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

Reflexiona

En la superficie de un pequeño estanque haces oscilar dos punzones separados una distancia de 2 cm. Los punzones generan ondas coherentes con una frecuencia de 12 Hz. La velocidad de propagación de las ondas es de 3 cm/s. ¿Cuál es el resultado de la superposición en un punto que dista 15 cm de un punzón y 13,5 cm del otro?

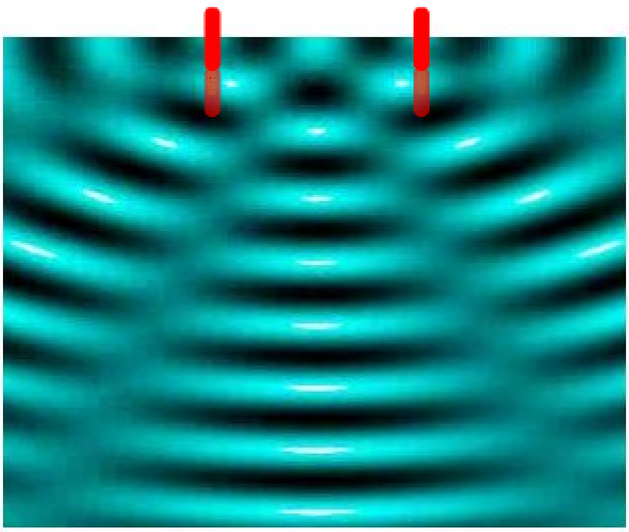


Imagen de jepeca bajo licencia Creative Commons

Mostrar retroalimentación

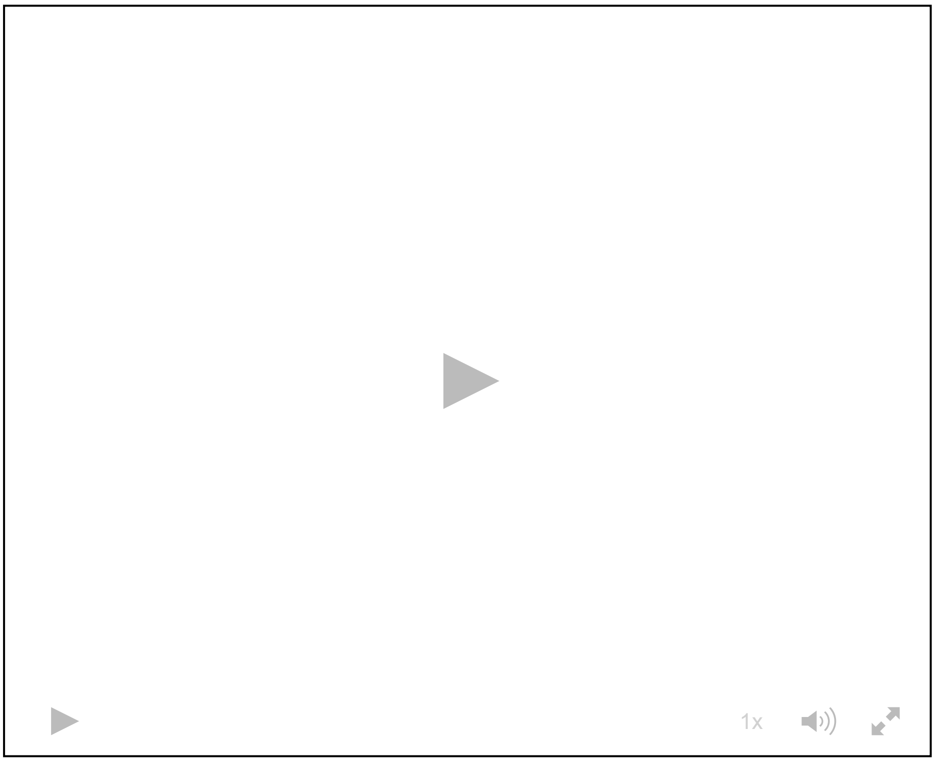
La diferencia de caminos es 1,5 cm. La longitud de onda es: $\lambda = \frac{v}{} = \frac{0,03}{} = 2,5\ 10^{-3}$ m

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3}{12} = 2,5\cdot 10^{-1}\ m$

El número de longitudes de onda en la diferencia de caminos es: 1,5/0,25 = 6 . Es decir, un número entero de longitudes de onda.

Al ser la condición que corresponde a una interferencia constructiva, en ese punto hay un máximo de amplitud.

Un caso muy interesante es el de la superposición de dos ondas armónicas de la misma amplitud y frecuencia.



Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

El resultado de la superposición es otra onda armónica de la misma frecuencia y velocidad de propagación que las ondas originales y cuya amplitud es:

$A = 2\, y_o \cos\frac{\delta}{2}$, donde δ es el desfase.

La amplitud de la onda resultante depende de la amplitud y_o de las ondas que se superponen y del desfase δ entre ellas.

Si $\delta = 0$, las ondas están en fase y la amplitud resultante es $2\, y_o$. Si $\delta = \pi$, la amplitud resultante es nula. En el primer caso se habla de **interferencia constructiva** y en el segundo de **interferencia destructiva**, pudiendo darse todas las situaciones intermedias según la diferencia de fase.

Ejercicio resuelto

Dos ondas armónicas longitudinales que se propagan por un mismo medio y en la misma dirección, vienen dadas por las ecuaciones (en unidades del S.I.):

$y_1 = 5\ sen\ 2\pi\ (4 \cdot x - 300 \cdot t)$ e $y_2 = 5\ sen\ 2\pi\ (4 \cdot x - 300 \cdot t + 1)$

¿Cuál es la amplitud, la frecuencia, la longitud de onda y la velocidad de propagación de la onda resultante?

Mostrar retroalimentación

La amplitud de la onda resultante es: $A = 2\ y_o \cos \frac{\delta}{2} = 2 \cdot 5 \cdot \cos \pi = -10\ m$. La amplitud es 10 m

La frecuencia: $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{600\pi}{2\pi} = 300\ Hz$

La longitud de onda: $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{8\pi} = 0{,}25\ m$

La velocidad de propagación: $v = \lambda \cdot f = 0{,}25 \cdot 300 = 75\ m/s$

Reflexiona

Dos ondas armónicas vienen dadas por:

$y_1 = 0{,}3\ sen\ (6 \cdot x - 90 \cdot t)$ e $y_2 = 0{,}3\ sen\ (6 \cdot x - 90 \cdot t + \pi)$

Si se superponen, ¿cuál es la velocidad de propagación de la onda resultante?

Mostrar retroalimentación

La velocidad de propagación de la onda resultante es la misma que la de las ondas que se superponen, es decir: $v = \lambda \cdot f = \frac{\omega}{k} = \frac{90}{6} = 15\ m/s$

Cuando las frecuencias de las ondas que se superponen son diferentes la interferencia produce una onda más compleja. Puedes comprobarlo en la siguiente simulación en la que se superponen dos ondas de la misma amplitud con las frecuencias seleccionadas.

Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

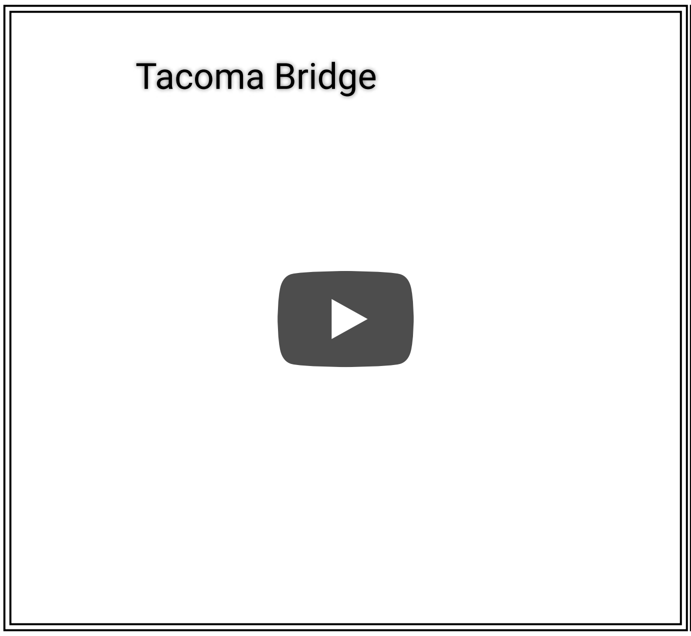
2.2 Ondas estacionarias

Llegados a este punto, se debe hacer una distinción entre ondas viajeras y ondas estacionarias.

Se considera una **onda viajera** a aquella que a lo largo del tiempo su perfil va variando. Un ejemplo sería las olas.

Por el contrario, en una **onda estacionaria** ese perfil no se mueve. Y el fenómeno suele aparecer en medios reducidos, como en una cuerda de un violín o guitarra. En esos medios se puede lograr una oscilación que no avanza ni retrocede.

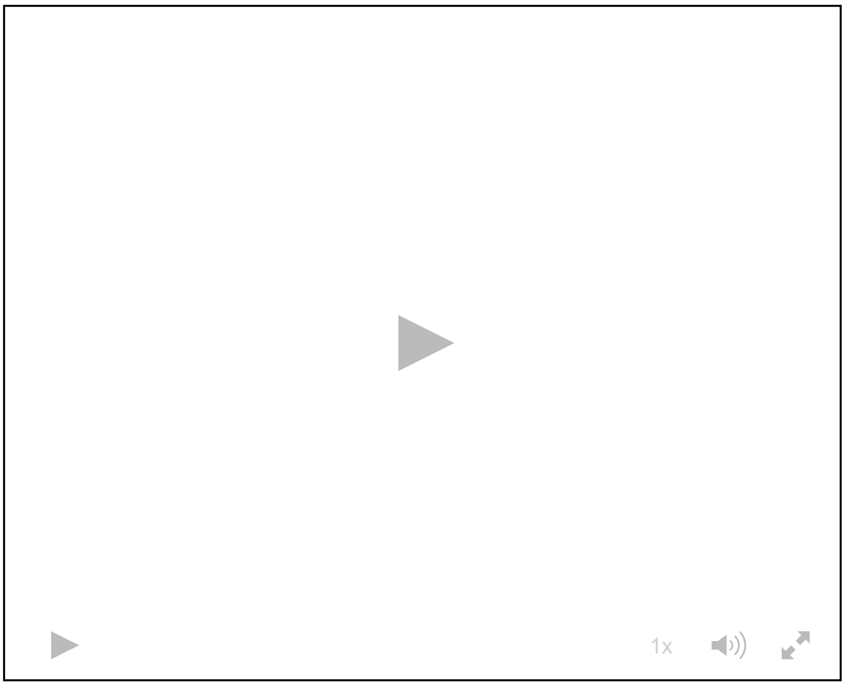
Los vídeos siguientes te pueden aclarar mejor el asunto de las ondas estacionarias, en uno verás cómo la arena se coloca en unas posiciones determinadas y no cambian de lugar a pesar del movimiento y en otro podrás observar cómo un puente adquiere un movimiento hasta que se fractura debido a una resonancia.



Vídeo de Simon Lespérance alojado en Youtube

Vídeo de Universidad de Alicante alojado en Youtube

Las ondas estacionarias no son ondas de propagación sino los distintos modos de vibración de una cuerda, una membrana, etc. **Una onda estacionaria se puede considerar como la interferencia de dos ondas de la misma amplitud y longitud de onda**: una que se propaga de izquierda a derecha y otra que se propaga de derecha a izquierda.



Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

Estas ondas se producen entre ondas coherentes, recuerda que esta condición significa que la diferencia de fase entre ambas ondas es constante, lo que permite que la interferencia se estable y podamos verla. La interferencia tiene lugar cuando una onda se refleja en la misma dirección en la que se propaga, pero en sentido contrario. Las dos ondas que se superponen. Este fenómeno suele ocurrir cuando una onda directa se combina con su reflejada dando lugar a una onda resultante estacionada.

La onda presenta unos puntos fijos que no vibran que se conocen por **nodos** y el resto de puntos que vibran como si se tratase de un conjunto de osciladores armónicos, cada uno con su amplitud determinada, por lo que el perfil de la onda no se desplaza, está quieto.

Importante

Las ondas estacionarias son aquellas en las que ciertos puntos de la onda llamados **nodos**, permanecen inmóviles. En este tipo de ondas, las posiciones donde la amplitud es máxima se conocen como **antinodos** (o vientres), los cuales se forman en los puntos medios entre dos nodos. Cuando dos ondas de igual amplitud, longitud de onda y velocidad avanzan en sentido opuesto a través de un medio se forman ondas estacionarias.

La ecuación que representa a una onda estacionaria puede conseguirse sin más que sumar algebraicamente las ecuaciones de las ondas que se afectan. La única diferencia entre las ondas que interfieren es su sentido de propagación, de modo que las ecuaciones a sumar serán:

$$y_1(x,t) = A \cdot sen(\omega t - kx); y_2(x,t) = A \cdot sen(\omega t + kx)$$

Sumando y teniendo en cuenta las relaciones trigonométricas, dependiendo de las condiciones en las que se produzca la reflexión, la resultante puede ser:

$y(x,t) = 2A(sen kx)(cos wt)$ o bien $y(x,t) = 2A(cos kx)(sen wt)$

Analizando la expresión anterior podrás distinguir, en cualquiera de las soluciones, dos partes bien diferenciadas. Una que depende del tiempo y otra que varía con la posición. La primera de ellas muestra que en un determinado lugar la partícula situada allí o el punto oscila con un movimiento armónico simple de la misma frecuencia que las perturbaciones que originan la onda. Lo mismo ocurre en todos los puntos del medio en el que la onda estacionaria está confinada.

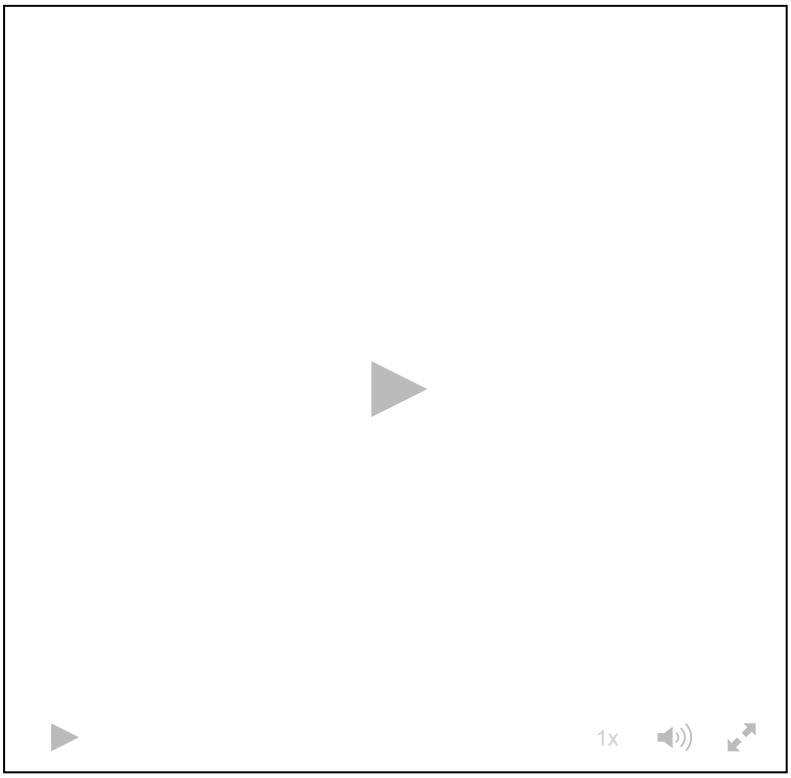
La otra parte de la ecuación representa la dependencia espacial. El término viene a expresar la amplitud del movimiento armónico simple antes citado para cada punto a una distancia determinada del origen inicial de la onda. Lo particularmente curioso e interesante es la amplitud del movimiento. La elongación máxima del movimiento para cada punto es diferente, no siendo un valor constante, sino que depende sinusoidalmente de la posición y, por tanto, cada punto del medio oscila con su propia amplitud.

Si te fijas en la primera solución, existen algunos puntos que tienen amplitud nula. En tales puntos se cumple que $sen(kx) = 0$. Dichos puntos permanecen en reposo de forma continua y se encuentran localizados para $x = n\frac{\lambda}{2}$. Tales posiciones son los nodos.

En cambio, los puntos en los que se verifique que $sen(kx) = \pm 1$ oscilarán con amplitud máxima e igual a dos veces a la amplitud de la onda original. Tales puntos serán los vientres o antinodos de la onda estacionaria. Un punto será un vientre si, para un valor de x , se verifica $x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$

Vamos a estudiar ahora una cuerda de longitud L fija en los extremos. La cuerda tiene un conjunto de modos normales de vibración, cada uno con una frecuencia característica.

Los extremos de la cuerda deben de ser nodos ya que estos puntos se encuentran fijos. El primer modo de vibración será aquel en el que la longitud de la cuerda sea igual a media longitud de onda L= λ /2. Para el segundo modo de vibración, la longitud de la cuerda será igual a una longitud de onda, L= λ . Para el tercer modo, L=3 λ /2, y así sucesivamente.



Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

El caso de la vibración de una cuerda sujeta por los dos extremos es el ejemplo típico de las cuerdas de los instrumentos musicales. El hecho de que los dos extremos estén fijos, y por tanto necesariamente de amplitud nula en todo momento, impone una fuerte restricción sobre las ondas que se pueden propagar en el seno de tales cuerdas.

Las frecuencias permitidas reciben el nombre de **frecuencias de resonancia**. La más baja de todas, se denomina **fundamental** o **primer armónico**.

En la simulación se ve la existencia de nodos y antinodos (o vientres), para cada armónico, es decir puntos de amplitud nula y máxima respectivamente. Como se observa en la simulación, la condición de resonancia para el armónico de orden n es:

$$L = n\frac{\lambda_n}{2}$$

donde n = 1, 2, 3...

Ejercicio resuelto

Una cuerda de guitarra de longitud L = 65 cm vibra estacionariamente en su modo fundamental a una frecuencia f = 440 Hz. Calcula la velocidad de propagación de ondas transversales en esta cuerda.

Mostrar retroalimentación

En el modo fundamental se cumple que la longitud de la cuerda es igual a media longitud de
onda, por lo tanto la longitud de onda es λ = 1.3 m.

Como la frecuencia es f = 440 Hz, la velocidad de ropagación se calcula mediante:

v = λ f = 1,3 m 440 Hz = **572 m/s**

Para saber más

Los modos de vibración de una cuerda, por ejemplo la de un instrumento musical, dependen de la longitud de la cuerda, de la tensión a la que está sometida y de la densidad lineal que es una característica de la cuerda que representa la masa por unidad de longitud.

Las frecuencias de la vibración las podemos deducir como:

$$f_n = n\frac{v}{2L}$$

Según esto la frecuencia fundamental es:

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

La velocidad de propagación de la onda en una cuerda es:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

donde T es la tensión de la cuerda y μ la densidad lineal de la cuerda (masa por unidad de longitud).

Por lo tanto las frecuencias de los armónicos las podemos expresar como:

$$f_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

donde n vale 1 para el primer armónico, 2 para el segundo armónico y así sucesivamente.

Ejercicio resuelto

Calcula la frecuencia fundamental y los siguientes dos modos de vibración de una onda estacionaria sobre una cuerda de 3 metros de longitud y densidad lineal de masa de $9x10^{-3}$ Kg/m y que está sometida a una tensión de 20 N.

Mostrar retroalimentación

Solo tenemos que sustituir los valores en la ecuación $f_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ y tenemos:

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot 3m}\sqrt{\frac{20N}{9 \cdot 10^{-3} kg/m}} = 7{,}86 Hz$$

La frecuencia del segundo armónico será:

$f_2 = 2 \cdot f_1 = 2 \cdot 7{,}86$ Hz = **15,72 Hz**

y la del tercer armónico:

$f_3 = 3 \cdot f_1 = 3 \cdot 7{,}86$ Hz = **23,58 Hz**

Ejercicio resuelto

Imagina esta vista. Se parecen mucho a una onda estacionaria. Ahora

evade tu mente y piensa que está formada por dos ondas armónicas se

Imagen de Mr tobi en Wikimedia Commons. CC

dos ondas armónicas se propagan por el mismo medio en sentidos opuestos.

Si las ondas tienen una amplitud de 12 cm, una frecuencia de 1,6 Hz y una velocidad de propagación de 1,6 m/s. ¿Cuál es la ecuación de la onda estacionaria que producirá su interferencia? ¿Con qué amplitud vibrarán los puntos x = 0,3 cm, x = 0,5 cm y x = 1,5 cm? ¿Qué distancia habrá entre dos nodos consecutivos?

Mostrar retroalimentación

En primer lugar determinamos la longitud de onda usando la velocidad de propagación.

$$v = \lambda \cdot f; \lambda = \frac{v}{f} = \frac{1.6}{1.6} = 1m$$

Usando la ecuación para las ondas estacionarias se tiene:

$$y(x,t) = 0.24sen(2\pi x)\cos(3.2\pi t)$$

Para hallar la amplitud en los puntos basta con sustituir en la parte correspondiente al seno que se conoce por amplitud resultante

$$y(0.3) = 0.24sen(2\pi \cdot 0.3) = 0.228m$$

$$y(0.5) = 0.24sen(2\pi \cdot 0.5) = 0m$$

$$y(1.5) = 0.24sen(2\pi \cdot 1.5) = 0m$$

Recuerda los cálculos deben hacerse en radianes.

Como la posición de los nodos corresponden a *n veces semilongitudes de onda*, la distancia entre dos nodos será de media longitud de onda en este caso 0.5 m.

2.2.1 Ondas resonantes en un tubo

Imagen de Alfonso Pardo Martínez en INTEF. CC

¿Te gusta la música? Las primeras manifestaciones musicales se deben al uso de cañas huecas, que más tarde dieron lugar a las flautas y otros instrumentos como la trompeta y tuba que son modificaciones del tubo. Desde la misma idea se han desarrollado diversos instrumentos uno de los más complejos es el órgano que utiliza distintos tamaños de tubos para lograr distintas frecuencias, vinculando una nota a cada tubo, y de esta forma tener una armonía en nuestros oídos. Lo que interesa aquí es el componente físico de la música de estos instrumentos de viento. Pues bien, en el interior de cualquier tubo por el que se insufla un gas, la columna interacciona con el fluido que se mueve por su interior. Esa perturbación corresponde a una onda. Esas ondas mantienen una oscilación uniforme en el fluido que se encuentra en la parte interna que se pueda percibir esa onda.

Para una onda, en esta situación en concreto que estás estudiando es una onda longitudinal, que se propaga en un fluido que ocupa el interior de un tubo al llegar a un extremo del mismo, se refleja. La onda reflejada también viaja por el tubo con la misma frecuencia que la onda incidente, y da lugar a nuevas reflexiones. Estas ondas reflejadas se encuentran desfasadas entre sí y con respecto a la onda incidente. La superposición, o también podemos decir interferencia, de la onda incidente y la reflejada, aunque pueden ser más de una, originan una onda estacionaria.

Recordando un poco, las ondas longitudinales son las que su velocidad de propagación y la oscilación de la partícula son coincidentes en dirección. Cuando se producen ondas estacionarias en los tubos podemos ver que existen puntos donde su amplitud es nula, nodos, y otros puntos donde la amplitud de la elongación de la partícula es máxima, antinodos. Si piensas en las características del gas, habrá zonas donde las partículas se aglutinan, antinodos, y otras donde existirá un defecto de partículas, nodos. En la primera situación la presión será máxima, mientras que en la segunda existirá una presión igual a la de equilibrio. No debes olvidar que la presión está relacionada con el número de partículas del más, según la ecuación general de los gases.

Existe una situación interesante. Resulta que para ciertas frecuencias, el desfase entre las ondas que viajan por el interior del tubo cumple que la amplitud de la onda estacionaria resultante es muy elevada, dando lugar a lo que se conoce por onda estacionaria resonante.

Las frecuencias para las que se forman ondas estacionarias resonantes en un tubo dependen de si éste tiene los dos extremos abiertos o uno de ellos está cerrado.

Para el caso en particular de un tubo abierto por ambos extremos, el gas contenido en su interior vibra con su máxima amplitud en los extremos. En la figura, se representan los tres primeros modos de vibración

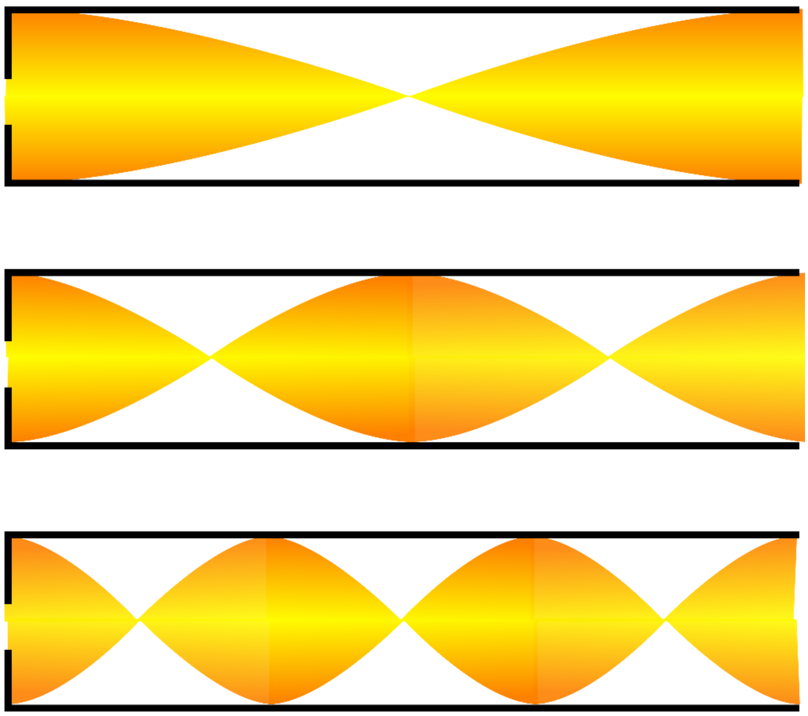


Imagen de Christophe Dang Ngoc Chan en Wikimedia Commons. CC

Partiendo del hecho que la distancia comprendida entre dos nodos o entre dos antinodos, no olvides que se pueden llamar también vientres, es media longitud de onda. Si **L** representa la longitud del tubo se puede establecer una relación entre esta distancia y la longitud de onda, donde **n** representa un número natural.

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Si se conoce la velocidad de propagación de la onda, podemos establecer la vinculación de la frecuencia con la longitud del tubo, no debes olvidar que lo que caracteriza la esencia de una onda por ser invariante es la frecuencia y si te gusta la música a cada nota musical se le asigna una frecuencia. Es obvio que música, matemáticas y música van juntas de la mano.

$$f = n \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$$

Ejercicio resuelto

Manuel tiene una idea y se compra un tubo de aluminio de 40 cm de longitud abierto por ambos lados.

Si la velocidad de propagación de una onda en el interior del tubo es de 340 m/s. ¿Cuál sería la frecuencia mínima para que se produzca una onda resonante en su interior? ¿Cuál sería la posición de los nodos y vientres?

Mostrar retroalimentación

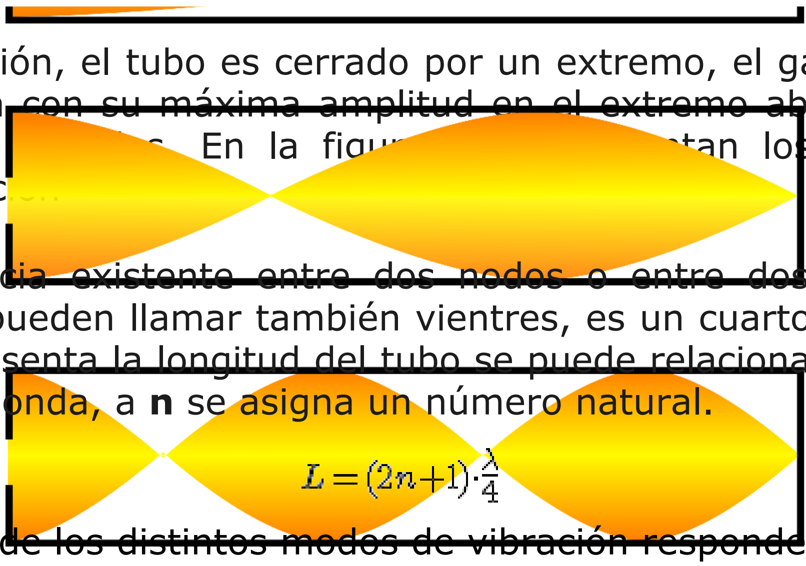
Aplicando la expresión

$$f = n \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$$

Sustituyendo valores

$$f = 1 \cdot \frac{340}{2 \cdot 0.4} = 425\, Hz$$

En esta situación el nodo se encuentra en la mitad del tubo, es decir, a 0.2 m. Por otro lado, los valores máximos se alcanzan en los extremos siendo pues la posición de los vientres 0 cm y 40 cm.



Para esta situación, el tubo es cerrado por un extremo, el gas contenido en su interior vibra con su máxima amplitud en el extremo abierto y aparece un nodo en el [illegible]. En la figu[illegible]tan los tres primeros modos de vibrac[illegible].

Como la distancia existente entre dos nodos o entre dos antinodos, no olvides que se pueden llamar también vientres, es un cuarto de longitud de onda. Si **L** representa la longitud del tubo se puede relacionar esta distancia y la longitud de onda, a **n** se asigna un número natural.

$$L = (2n+1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

Las frecuencias de los distintos modos de vibración responden a la fórmula

Imagen de Christophe Dang Ngoc Chan en Wikimedia Commons. CC

$$f = (2n+1) \cdot \frac{v}{4 \cdot L}$$

Ejercicio resuelto

Un estudiante de Física quiere determinar la velocidad del sonido. Para ello, se compra un tubo y lo cierra por un extremo y luego produciendo, mediante un sistema apropiado, ondas estacionarias dentro del tubo determina la frecuencia del sonido percibido.

Si el tubo tiene un metro de longitud y el sonido captado por nuestros oídos tiene una frecuencia de 84 Hz, que corresponde a la frecuencia fundamental, también llamada primer armónico.

Determina la velocidad del sonido, la frecuencia del segundo armónico.

Mostrar retroalimentación

Aplicando la expresión de la frecuencia para un tubo cerrado lleno de un gas, se puede establecer la velocidad de propagación de la onda.

$$f = n \cdot \frac{v}{4 \cdot L}; v = \frac{4 \cdot f \cdot L}{n} = 4 \cdot 84 \cdot 1 = 336 m/s$$

Como en este tipo de tubos, las frecuencias son un número impar del primer armónico, el segundo armónico corresponde a tres veces el anterior valor, por tanto, la frecuencia es de 3·84=252 Hz.

2.2.2 Ondas transversales en una cuerda

Escucha este solo de guitarra de Jimi Hendrix, algunos dicen que es fabuloso, aunque siempre será cuestión de gustos.

Vídeo de Prototypedm alojado en Youtube

Vídeo de Universidad de Alicante alojado en Youtube

Ya sabes que cuando dos ondas que se propagan en sentidos opuestos e interfieren, acontece una situación donde la onda resultante tiene una amplitud que varía en los distintos puntos donde se produce la perturbación. Además, cada punto oscila con un movimiento armónico simple, dando lugar a lo que ya debes de conocer por ondas estacionarias.

Las ondas estacionarias pueden observarse en tubos como ya se ha visto en otros apartados pero también se dan en cuerdas sujeta por ambos extremos como ocurre en la guitarra de Jimi Hendrix. En estas cuerdas cuando se provoca una vibración, la onda que desplaza hacia la derecha se topa con la que se refleja en el extremo opuesto y fijo, en tal caso, se origina la interferencia de ambas.

Observa la cuerda que se ve en el vídeo se hace vibrar mediante un dispositivo muy corriente en los laboratorios escolares.

Dentro de todas las ondas posibles hay algunas que no están permitidas por las restricciones del contorno del sistema, es decir, sólo son válidas aquellas que tengan un nodo en los extremos. Las limitaciones son debidas a la longitud de la cuerda tiene que ser un múltiplo entero de una semilongitud de onda.

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} = n \cdot \frac{v}{2 \cdot f}$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de propagación de una onda en una cuerda depende de la densidad lineal de ésta (μ) y de su tensión (T), sustituyendo la velocidad en la ecuación anterior podremos obtener el valor de la frecuencia para los distintos modos de vibración según los valores de n.

Modo de vibración	n	frecuencia
Primer o modo fundamental	1	$\frac{1}{2 \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$
Segundo	2	$\frac{1}{L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$
Tercer	3	$\frac{3}{2 \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

Tal vez hayas caído en la cuenta que los guitarristas afinan su guitarra tensando o destensando la cuerda. Como ves, aumentando o disminuyendo la tensión de la cuerda cambiamos la frecuencia a la que emite.

Imagen de ANÓNIMO en PIXABAY. CC

Vídeo de Dr. Moina alojado en Youtube

A Frank Sinatra se le conocía por **La Voz**. Desde luego, la voz humana es un verdadero instrumento musical y, concretamente, es un instrumento de cuerda semejante a un violín, viola o guitarra, pero sus cuerdas son algo especial por cómo están confeccionadas. Tu voz, la nuestra, viene a ser un sonido originado voluntariamente por las cuerdas vocales que se encuentran en la caja laríngea y su función básicamente es vibrar por medio del aire que las atraviesa. La generación de estos sonidos que pueden hacer derrumbar a cualquier coloso es producida en tres fases. En primer lugar, los pulmones deben promover un flujo de aire que se adecue para que las cuerdas vocales vibren. La vibración en esa zona es ajustada finamente para dar el tono y timbre propio de cada individuo. Por último, para dar el producto final utilizamos otros órganos como lengua, paladar, mejilla, labios, dientes, entre otros, que permitirán articulan y filtran el sonido, tu voz. La frecuencia de los sonidos que es posible reproducir por el ser humano varía entre los 500 y 3500 Hz.

3. Estudio cualitativo de algunas propiedades de las ondas

Estamos rodeados de ondas y muchos de los fenómenos relacionados con ellas te resultarán muy familiares.

Imagen de Mehrad.HM en Flickr. CC

Habrás observado cómo las aguas tranquilas de un lago reflejan el paisaje o el fenómeno del eco que se produce cuando emitimos un sonido en un valle. estos efectos se deben a la **reflexión** de ondas.

La **refracción** es la responsable de que una cucharilla parezca rota cuando está en un vaso con agua y el **efecto Doppler** nos hace percibir la frecuencia de la sirena de una ambulancia de forma diferente cuando la ambulancia se acerca a nosotros y cuando se aleja.

Habrás observado también que la sirena de una ambulancia te suena distinto cuando se acerca de ti que cuando se aleja o que una cucharilla en un vaso de agua parece estar rota.

En los siguientes apartados vamos a estudiar algunos de estos fenómenos.

3.1 Reflexión

Imagen de jepeca en Flickr. CC

Mirarnos en el espejo es un acto que realizamos habitualmente, pero ¿cómo funciona un espejo?

Cuando un objeto está iluminado refleja parte de la luz que recibe y por ello podemos verlo. En nuestra figura de la izquierda la mano emite una luz que es reflejada por un espejo plano de manera que podemos verla sin deformaciones porque los rayos que inciden sobre el espejo se reflejan con un ángulo igual.

En otros casos, como en los espejos de tocador o los espejos de vigilancia que hay colocados en las superficies comerciales la imagen se ve deformada, de mayor o de menor tamaño.

Cuando la luz incide sobre un cuerpo, éste la devuelve al medio en mayor o menor proporción según sus propias características. Este fenómeno se llama reflexión y gracias a él podemos ver las cosas.

En la simulación siguiente puedes ver la reflexión en un espejo plano:

- Observa que el rayo incidente y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano.
- La perpendicular (N) al espejo en el punto de incidencia se llama normal.
- El ángulo de incidencia (i) es el ángulo que forma el rayo incidente con la normal.
- El ángulo de reflexión (r) es el que forma el rayo reflejado con la normal.

Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

3.2 Refracción

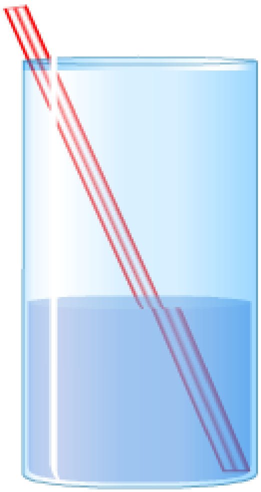


Imagen de jepeca en Flickr. CC

Ya sabes que la luz que incide en la interfaz entre dos medios se refleja pero si el medio es transparente, parte de luz puede pasar a través de él.

Esto último es lo que conocemos como refracción. El fenómeno de la refracción lo observamos a menudo en nuestras vidas, por ejemplo cuando tenemos una pajita en un vaso de agua, parece estar rota justamente en la frontera entre el agua y el aire.

Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro se produce un cambio en su dirección debido a la distinta velocidad de propagación que tiene la luz en los diferentes medios materiales.

Observa en la siguiente tabla algunos valores de la velocidad de la luz en distintos medios:

Velocidad de la luz en diferentes medios	
medio	**velocidad (km/s)**
vacío	300000
aire	299910
agua	225564
cuarzo	205479
diamante	123967

Importante

Si dividimos la velocidad de la luz en el vacío entre la que tiene en un medio transparente obtenemos un valor que llamamos **índice de refracción** de ese medio:

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

n: índice de refracción
c: velocidad de la luz en el vacío

v: velocidad de la luz en el medio material
Si el índice de refracción del agua es n= 1,33, quiere decir que la luz es 1,33 veces más rápida en el vacío que en el agua.

Por lo general cuando la luz llega a la superficie de separación entre los dos medios se producen simultáneamente la reflexión y la refracción.

Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

El fenómeno de la refracción se rige por la llamada ley de la refracción o ley de Snell:

$n_1 \cdot sen\theta_1 = n_2 \cdot sen\theta_2$
n_1 = índice de refracción del medio del que procede. θ_1 = ángulo de incidencia n_2 = índice de refracción del medio en el que se refracta. θ_2 = ángulo de refracción

Ejercicio resuelto

Un rayo de luz monocromática incide desde el aire sobre una lámina de vidrio con un ángulo de incidencia de 30º.

Si el índice de refracción del vidrio es n = 1.618 ¿cuál será el ángulo de refracción?

Mostrar retroalimentación

El índide de refracción del aire es 1,000, por lo que sustituyendo en la ley de Snell los datos conocidos tenemos:

1,000·sen30º = 1.618·sen θ_2

sen θ_2 = $\frac{0,5}{1,618} =$ 0,309

θ_2 = arcsen 0,309 = 18º

Comprueba lo aprendido o

Para un cierto ángulo de incidencia, el ángulo de refracción es mayor a medida que aumenta el índice de refracción.

Sugerencia

Verdadero Falso

Falso
Compruébalo con el simulador

3.3 Difracción

¿Te has preguntado alguna vez por qué se puede oír a una persona que está a la vuelta de una esquina mucho antes de que podamos verla? Parece que el sonido puede viajar alrededor de esquinas y la luz no puede. ¿Cuál es la razón de esto?

La clave para entender la difracción es comprender cómo el tamaño relativo del objeto y la longitud de onda afectan a lo que sucede.

En la siguiente animación puedes ver que con una barrera grande una buena parte de las ondas se reflejan y vuelven hacia la fuente, aunque hay algo de difracción en torno a la barrera, esto todavía deja una "zona de sombra" detrás de ella.

Grabación de Animación de Jesús Peñas bajo licencia creative Commons

Sin embargo, con la barrera pequeña (de la misma longitud que la longitud de onda) la difracción es muy eficaz y casi no hay ninguna zona de sombra detrás de ella.

Podemos concluir que la difracción se produce cuando la longitud de onda es de un orden parecido a las dimensiones del obstáculo y si tienes en cuenta que la longitud de onda de la luz visible oscila entre los 400 y 700 nm (1 nm = 10^{-9} m) mientras que la del sonido oscila aproximadamente entre 2 cm y 17 m, puedes tener una primera explicación de porqué oímos un ruido producido a la vuelta de una esquina y no podemos ver lo que hay al otro lado.

Comprueba lo aprendido

El fenómeno de la difracción depende tanto de la longitud de onda como del tamaño del objeto.

Sugerencia

○ Verdadero ○ Falso

Verdadero
La difracción se produce si la longitud de la onda es de un orden similar al tamaño del objeto.

La difracción también se produce cuando una onda pasa a través de una rendija. Igual que en el caso anterior la difracción óptima se produce cuando la rendija tiene una anchura similar a la longitud de onda.

¿Qué ocurre si hay dos o más rendijas? En este caso vamos a terminar teniendo dos o más ondas de difracción y, como debemos esperar, se producirá una interferencia entre ellas.

Grabación de Animación de Jesús Peñas bajo licencia creative Commons

En la simulación se representa el experimento realizado por Young para estudiar la difracción en dos rendijas y las interferencias posteriores en las ondas difractadas. ¿Existe un patrón? ¿Es la amplitud más grande en algunos lugares que en otros?

Puedes observar que por detrás de las rendijas, las ondas interfieren entre sí tal como hemos visto antes sobre la interferencia de dos ondas. Habrá lugares donde las ondas están en fase y se produce una interferencia constructiva y otros lugares donde las ondas están desfasadas e interfieren destructivamente.

En un ejemplo de audio, las dos rendijas podrían reemplazarse con dos altavoces, y los máximos y mínimos en la superposición de las ondas se corresponderían con sonidos nítidos y silencio (o sonidos más tenues) respectivamente.

Si el experimento se lleva a cabo utilizando las ondas de luz, se obtienen lugares brillantes que corresponden a las zonas de interferencia constructiva y lugares oscuros para la interferencia destructiva.

3.4 Polarización de ondas

Un prisma de Nicol puede utilizarse como polarizador, ya que al incidir sobre él la luz natural obtenemos a la salida del mismo **luz polarizada** cuyo plano de vibración es paralelo a la sección principal. Si este haz de luz polarizada se hace incidir sobre otro prisma de Nicol cuya sección principal sea perpendicular a la del primero, este haz no podrá penetrar en el segundo Nicol ya que vibra en una sección perpendicular, y por lo tanto no habrá salida de luz del segundo Nicol.

En este caso se dice que ambos prismas (o polarizadores) están cruzados, esto se llama Polarización cruzada. Variando la posición relativa de las secciones principales de los dos Nicols se logrará mayor o menor luz a la salida, desde el valor máximo (polarizadores paralelos) hasta la anulación completa (polarizadores cruzados).

Grabación de Simulación de Jesús Peñas bajo licencia Creative Commons

Supongamos un dispositivo experimental consistente en dos polarizadores superpuestos de forma que un haz de luz los atraviese y que uno de ellos puede girar respecto al otro, que permanece estático. La intensidad luminosa transmitida por el sistema variará con el ángulo de giro, de tal manera que pasará por dos puntos de máxima luminosidad separados 180º, con dos puntos de oscuridad total a 90º de los anteriores. Entre estos extremos la intensidad va creciendo y decreciendo paulatinamente, según los casos.

Este fenómeno de polarización solo se da con ondas transversales, pero no con longitudinales, ya que implica una asimetría respecto del eje en la dirección de propagación. Si se demuestra que un haz de ondas puede ser polarizado, llegaremos a la conclusión de que se trata de ondas transversales.

La luz emitida por una fuente está constituida por una serie de trenes de ondas procedentes de átomos distintos; en cada uno de estos trenes de ondas el campo eléctrico oscila en un plano determinado pero, en general, su orientación es distinta de unos a otros. Dado el enorme número de moléculas y átomos de una fuente luminosa, se comprende el gran número de trenes de ondas que constituye un haz de luz y, por consiguiente, la existencia en éste de ondas polarizadas en todas las direcciones transversales posibles.

Importante

Cuando una onda vibra en una única dirección se dice que está polarizada y se llama plano de polarización al plano formado por la dirección de la vibración y la dirección de propagación.

En el siguiente vídeo puedes ver este efecto. La pantalla emite luz polarizada y con unas gafas de sol polarizadas podemos comprobar que para cierto ángulo la luz no puede atravesar los cristales de las gafas polarizadas.

Vídeo de educaplus alojado en Youtube

Comprueba lo aprendido

Con un cristal polarizador podemos anular completamente la luz solar.

Sugerencia

Verdadero Falso

Falso
La luz solar vibra en todas las direcciones y con un cristal polarizador podemos convertirla en luz polarzada (que vibra en una única dirección) pero no anularla completamente. Para ello necesitaríamos un segundo cristal polarizador.

3.5 Efecto Doppler

Cuando la fuente de ondas y el observador están en movimiento relativo con respecto al medio material en el que se propaga la onda, la frecuencia de las ondas observadas es diferente de la frecuencia de las ondas emitidas por la fuente. Este fenómeno recibe el nombre de efecto Doppler en honor a su descubridor.

Vídeo de tANGO67100 alojado en Youtube

Aunque la frecuencia emitida por el coche es siempre la misma, en el vídeo puedes ver cómo la frecuencia que percibe el observador es diferente cuando el coche se acerca a él y cuando se aleja.

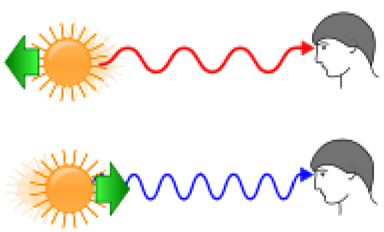


Imagen de Aleš Tošovský en Wikimedia. CC

A las ondas luminosas les pasa lo mismo, pero el efecto Doppler se nota bastante menos. El efecto Doppler de la luz se usa para medir la velocidad a la que las cosas se alejan o se acercan de nosotros. Lo mismo sirve para medir la velocidad de un coche, haciendo que rebote en él una onda de radar o un haz de láser, como para medir la velocidad a la que una estrella se acerca o se aleja de nosotros. Para calcular la velocidad del objeto hay que conocer la frecuencia (el color) que tiene la luz cuando llega a nosotros y la que tenía cuando salió. La parte difícil, claro, es saber qué color tenía la luz cuando salió de la estrella.

Cuando el objeto luminoso se aleja de nosotros se produce lo que se llama un **corrimiento al rojo** y cuando el objeto se acerca se produce un **corrimiento al azul**, ambos debidos al efecto Doppler.

Mapa conceptual

Mapa conceptual (pdf - 42.34 KB) .

Fuentes para el profesorado

Descargar CMAP

Resumen

Importante

Principio de Superposición:

Si en un medio se propagan dos o más ondas, éstas superpondrán sus efectos en los puntos en que coincidan y continuarán después independientemente la una de la otra como si no se hubieran superpuesto.

Importante

Ondas estacionarias

Estas ondas se producen entre ondas coherentes. La interferencia tiene lugar cuando una onda se refleja en la misma dirección en la que se propaga, pero en sentido contrario.

La ecuación que representa a una onda estacionaria es:

$$y(x,t) = 2A(\mathrm{sen}\,kx)(\cos wt) \text{ o bien } y(x,t) = 2A(\cos kx)(\mathrm{sen}\,wt)$$

Una onda estacionaria se puede considerar como la interferencia de dos ondas de la misma amplitud y longitud de onda: una que se propaga de izquierda a derecha y otra que se propaga de derecha a izquierda.

Importante

Las ondas estacionarias son aquellas en las que ciertos puntos de la onda llamados **nodos**, permanecen inmóviles. En este tipo

de ondas, las posiciones donde la amplitud es máxima se conocen como **antinodos** (o vientres), los cuales se forman en los puntos medios entre dos nodos. Cuando dos ondas de igual amplitud, longitud de onda y velocidad avanzan en sentido opuesto a través de un medio se forman ondas estacionarias.

Importante

Si dividimos la velocidad de la luz en el vacío entre la que tiene en un medio transparente obtenemos un valor que llamamos **índice de refracción** de ese medio:

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

n: índice de refracción
c: velocidad de la luz en el vacío
v: velocidad de la luz en el medio material

Si el índice de refracción del agua es n= 1,33, quiere decir que la luz es 1,33 veces más rápida en el vacío que en el agua.

Importante

Cuando una onda vibra en una única dirección se dice que está polarizada y se llama plano de polarización al plano formado por la dirección de la vibración y la dirección de propagación.

Ejercicios resueltos

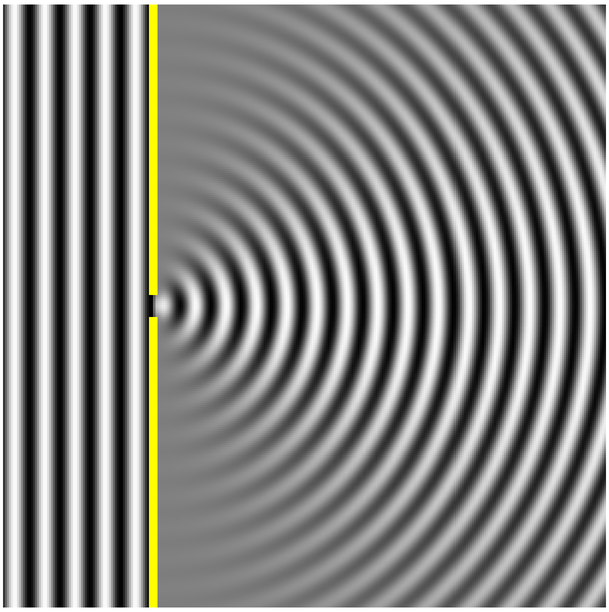


Imagen de Lookangmany en Wikipedia. CC

Veamos unos ejercicios resueltos.

Ejercicio 1

Ejercicio resuelto

Enuncia el principio de Huygens.

Mostrar retroalimentación

Supongamos una perturbación, cuyo frente de ondas contiene los puntos A, B y C, en un determinado instante *t*, como se muestra en la figura. Se puede considerar que cada punto del frente de ondas se convierte en un foco secundario que genera ondas idénticas a la original. Transcurrido cierto tiempo *t'* estas ondas alcanzarán los puntos A', B' y C', habiendo recorrido todas ellas la misma distancia y por tanto estando en la misma fase. Uniendo estos puntos se obtiene el nuevo frente de ondas.

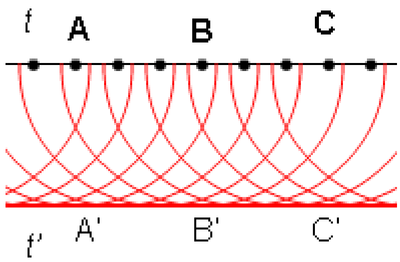


Imagen propia

El **principio de Huygens** puede enunciarse de la siguiente forma:

> *Cada punto de un frente de ondas puede considerarse como un foco secundario de nuevas ondas elementales, de forma que al cabo de un tiempo, el nuevo frente de ondas será la envolvente de las ondas secundarias.*

Ejercicio 2

Ejercicio resuelto

Dos ondas que se mueven por una cuerda en la misma dirección y sentido y con una misma frecuencia de 100 Hz, una longitud de onda de 2 cm y una amplitud de 0,02 m. ¿Cuál es la amplitud de la onda resultante si las dos ondas tienen una diferencia de fase de Π/3? ¿Cuál será la diferencia de fase si la amplitud de la onda resultante es de 0,02 m?

Mostrar retroalimentación

La amplitud de la onda resultante vendrá dada por la expresión:

$$A = 2\, y_o \cos\frac{\delta}{2}$$

donde δ es el desfase y y_o la amplitud de las ondas que interfieren.

En nuestro caso conocemos estos valores:

δ = Π/3 rad e $y_o = 0{,}02\ m$

$$A = 2{\cdot}0{,}02\cos\frac{\pi/3}{2} = 0{,}04\cos\left(\frac{\pi}{6}\right) = 0{,}04{\cdot}0{,}866 = 0{,}0346\ m$$

Para calcular la diferencia de fase entre las ondas despejamos de la ecuación:

$$A = 2\, y_o \cos\frac{\delta}{2}$$
$$\frac{\delta}{2} = arcos\left(\frac{A}{2{\cdot}y_0}\right)$$
$$\delta = 2{\cdot}arcos\left(\frac{0{,}02}{2{\cdot}0{,}02}\right) = 2{,}094\ rad$$

que expresado en grados corresponde a un desfase de 120º

Ejercicio 3

Ejercicio resuelto

En una cuerda tensa se tiene una onda de ecuación: y (x,t) = $5 \cdot 10^{-2}$ cos (10πx) sen (40πt) (en unidades S.I.)

a) Razone las características de las ondas cuya superposición da lugar a la onda dada y escriba sus ecuaciones.

Mostrar retroalimentación

La expresión general de una onda estacionaria viene expresada por:

$$y(x,t) = 2A cos(kx) sen(wt)$$

Comparando esta ecuación con la ofrecida en el ejercicio y según las condiciones del mismo donde en el punto x=0 es nodo. Se puede deducir que la amplitud sería de $2.5 \cdot 10^{-2}$ m, la pulsación es de 40π rad/s y el número de onda corresponde a 10π m^{-1}. Desde estos valores se puede lograr la frecuencia, 20 Hz, y la longitud de onda, 0.2 m, que nos llevaran a la velocidad de propagación que tiene un valor de 4 m/s.

b) Calcule la distancia entre nodos y la velocidad de un punto de la cuerda situado en la posición x = 1, $5 \cdot 10^{-2}$ m, en el instante t = 9/8 s.

Mostrar retroalimentación

Los nodos corresponden a puntos cuya amplitud resultante sea nula.

$$2A cos(kx) = 0$$

Ello corresponde a valores que sean kx= $\frac{(2n-1)}{2}\pi$, sustituyendo para el primer valor de n. La distancia sería de 0.05 m, para el segundo 0.15 m, y así sucesivamente con diferencias de media longitud de onda.

Para establecer la velocidad de un punto se debe realizar la derivada temporal de la ecuación de onda.

$$v = \frac{d(y(x,t))}{dt} = 2A\omega \cos(kx)\cos(\omega t)$$

Sustituyendo los valores

Sustituyendo los valores

$$v=\frac{d(y(x,t))}{dt}=5\cdot 10^{-2}\cdot 40\pi\cdot\cos(10\pi\cdot 1.5\cdot 10^{-2})\cos\left(40\pi\cdot\frac{9}{8}\right)=-5.6\ \frac{m}{s}$$

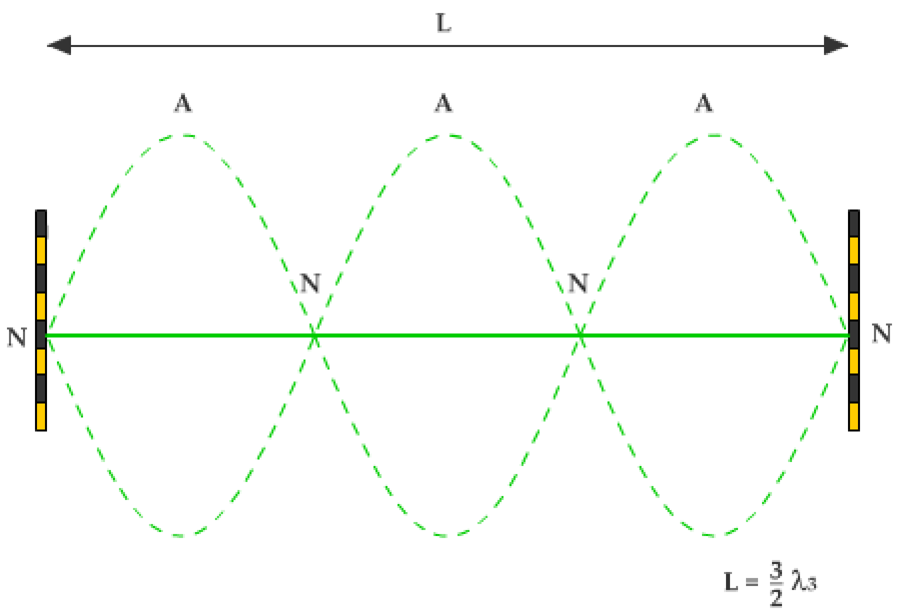
Ejercicio 4

Ejercicio resuelto

Una cuerda de guitarra de 1 m de longitud y fija por los extremos, vibra formando 4 nodos. Los puntos centrales de la cuerda tienen un desplazamiento máximo de 4 mm. Si la velocidad de las ondas en la cuerda es de 660 m/s, halla la frecuencia con la que vibra la cuerda.

Mostrar retroalimentación

Si la cuerda forma cuatro nodos, podemos deducir de la figura que la longitud de la cuerda es igual a tres semilongitudes de onda.



$$L = 3 \cdot \frac{\lambda}{2} \rightarrow \lambda = \frac{2 \cdot L}{3} = \frac{2 \cdot 1}{3} = \frac{2}{3}\ m$$

Y la frecuencia de vibración es:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{660}{2/3} = 990\ Hz$$

Ejercicio 5

Ejercicio resuelto

Explica por qué, cuando se observa desde el aire un remo sumergido parcialmente en el agua, parece estar doblado.

Mostrar retroalimentación

Como se observa en la figura, los rayos luminosos que proceden de la parte sumergida del remo los observamos desde el aire tras recorrer un trecho por el agua y otro por el aire.

Esto hacer que los rayos se refracten, ya que pasan de un medio con mayor índice de refracción (el agua) a otro con menor índice de refracción (el aire).

Por el contrario, los rayos que provienen de la parte no sumergida del remo no sufren refracción,

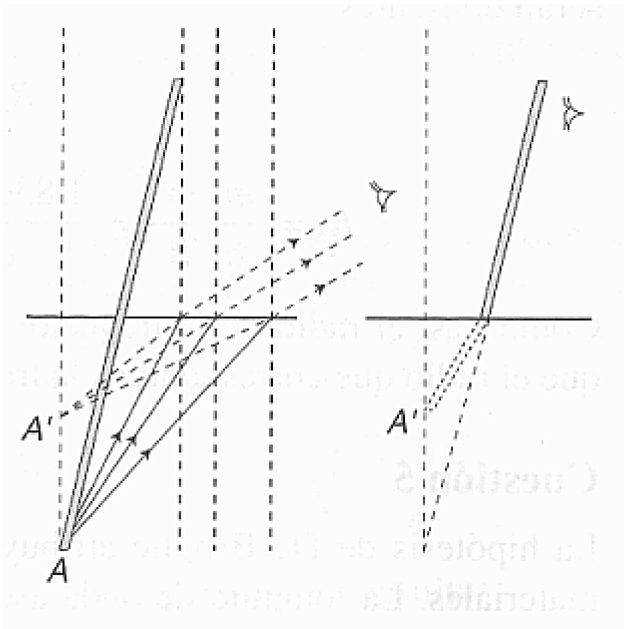


imagen propia

Como el cerebro sitúa al objeto que emite los rayos luminosos en la dirección en que el ojo los recibe, una simple construcción como la de la figura, demuestra que debemos percibir el remo doblado, como ocurre en realidad.

Ejercicio 6

Ejercicio resuelto

¿Podría observarse difracción de la luz visible en una rendija de 10 cm de ancha? ¿Y del sonido?

Datos: v_{sonido} (en el aire)= 340 m/s; v_{luz} (en el aire)= 3.10^8 m/s; f_{sonido} = 20 - 20.000 Hz; f_{luz} = 4.10^{14} - 7.10^{14} Hz.

Mostrar retroalimentación

No se observa difracción de la luz en una rendija de 10 cm. Para que ocurriera difracción, la longitud de onda de la luz debería de ser del mismo orden de magnitud que el ancho de la rendija y no lo es.

Recordamos la relación que existe entre la longitud de onda y la frecuencia de una onda:

$$f = \frac{v}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{3{\cdot}10^8}{4{\cdot}10^{14}} = 7{,}5{\cdot}10^{-7}\ m$$

$$\lambda = \frac{3{\cdot}10^8}{7{\cdot}10^{14}} = 4{,}3{\cdot}10^{-7}\ m$$

La longitud de onda se alejan del orden de magnitud de la rendija.

Por el contrario, en el caso del sonido, la longitud de onda si puede encontrarse cerca del orden de magnitud de la rendija.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{340}{20} = 17\ m$$

$$\lambda = \frac{340}{20000} = 0{,}017\ m$$

Los sonidos con mayor frecuencia sufrirán difracción.

Ejercicio 7

Ejercicio resuelto

Razona si es cierta o falsa la siguiente respuesta: "la longitud de onda del silbido de un tren en movimiento, disminuye para un observador en reposo situado delante de él".

Mostrar retroalimentación

Esta cuestión está relacionada con el efecto Doppler en el supuesto que el foco está en movimiento y el observador se encuentra en reposo.

Aunque el sonido tiene su propia longitud de onda (λ), al desplazarse el foco en el sentido del observador, los frentes de ondas, representados en la figura a intervalos de tiempo de un periodo T, se aproximan unos a otros, en la dirección y sentido en que se encuentra el observador.

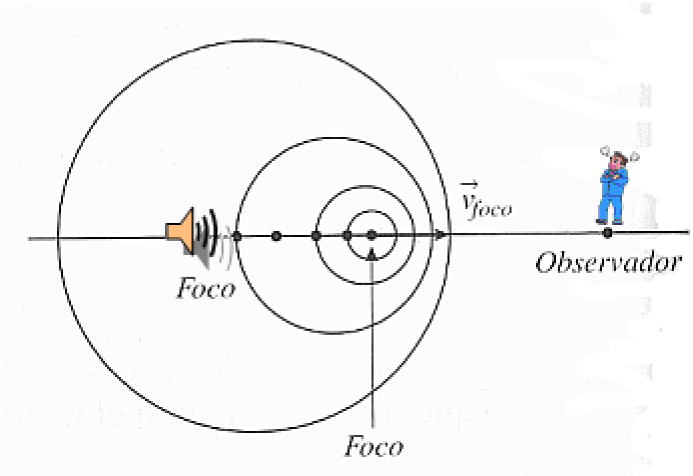


imagen propia

Esto ocurre porque el foco se aproxima al observador, acortando de ese modo la distancia que existe entre sucesivos frentes de onda.

Se debe tener en cuenta que, durante un periodo, la onda avanza una longitud de onda, pero al mismo tiempo, el foco avanza una distancia que es el producto de la velocidad con que se desplaza el foco por el periodo.

Debido a ello, el observador percibe un sonido cuya longitud de onda aparente (λ') viene dada por la expresión:

$$\lambda' = \lambda - v_{foco} \cdot T = \lambda - \frac{v_{foco}}{f}$$

Siendo "f" la frecuencia del sonido. Por tanto, al afirmación es cierta

Ejercicio resuelto

Indica si son verdaderas o falsas las siguientes frases y, en caso de que sean falsa, escribe la frase correcta:

A En la reflexión, el ángulo de incidencia es menor que el ángulo reflejado.

Mostrar retroalimentación

Falso.

En la reflexión, el ángulo de inicdencia y el ángulo reflejado son iguales.

B Según el principio de Huygens, todo punto alcanzado por el frente de onda se convierte en foco emisor de nuevas ondas elementales.

Mostrar retroalimentación

Falso.

Según el principio de Huygens, todo punto alcanzado por el frente de onda se convierte en foco emisor **secundario** de nuevas ondas elementales

C Una onda estacionaria resulta de la interferencia de dos ondas distintas que se propagan en la misma dirección pero en sentido contrario.

Mostrar retroalimentación

Falso.

Una onda estacionaria resulta de la interferencia de dos ondas, de identica amplitud, frecuencia y longitud de onda que se propagan en la misma dirección pero en sentido contrario.

D Sólo se pueden polarizar las ondas transversales, las longitudinales no.

Mostrar retroalimentación

Cierto.

E. La frecuencia y la longitud de onda son magnitudes directamente proporcionales.

Mostrar retroalimentación

Falso.

La frecuencia y la longitud de onda son magnitudes inversamente proporcionales.

Imprimible

Descargar imprimible

Aviso Legal

Aviso Legal

El presente texto (en adelante, el "**Aviso Legal**") regula el acceso y el uso de los contenidos desde los que se enlaza. La utilización de estos contenidos atribuye la condición de usuario del mismo (en adelante, e "**Usuario**") e implica la aceptación plena y sin reservas de todas y cada una de las disposiciones incluidas en este Aviso Legal publicado en el momento de acceso al sitio web. Tal y como se explica más adelante, la autoría de estos materiales corresponde a un trabajo de la **Comunidad Autónoma Andaluza, Consejería de Educación y Deporte (en adelante Consejería de Educación y Deporte**).

Con el fin de mejorar las prestaciones de los contenidos ofrecidos, la Consejería de Educación y Deporte se reserva el derecho, en cualquier momento, de forma unilateral y sin previa notificación al usuario, a modificar ampliar o suspender temporalmente la presentación, configuración, especificaciones técnicas y servicios de sitio web que da soporte a los contenidos educativos objeto del presente Aviso Legal. En consecuencia, se