

MOVIMIENTO ONDULATORIO

Proceso por el que se propaga energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, mediante ondas mecánicas o electromagnéticas.

Las ondas se clasifican según la dirección de los desplazamientos de las partículas en relación a la dirección del movimiento de la propia onda.

Tres características físicas son importantes en la descripción de las ondas: la longitud de onda, la frecuencia y la velocidad de la onda.

Longitud de onda

Distancia mínima entre dos puntos cualesquiera sobre una onda que se comportan idénticamente.

La mayor parte de las ondas son periódicas, y la frecuencia de dichas ondas periódicas es la tasa en el tiempo a la cual la perturbación se repite así misma.

Onda viajera

Cuando una sola protuberancia de onda (llamada un pulso de onda) se forma y viaja con una velocidad definida

Onda transversal

Es en la que las vibraciones son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda, pueden ser mecánicas, como las ondas que se propagan a lo largo de una cuerda tensa cuando se produce una perturbación en uno de sus extremos, o electromagnéticas, como la luz, los rayos X o las ondas de radio.

Onda longitudinal

Onda viajera que ocasiona que las partículas del medio se muevan paralelas a la dirección del movimiento ondulatorio, corresponde a la distancia entre dos compresiones o entre dos enrarecimientos sucesivos.

Siempre es mecánica y se debe a las sucesivas compresiones (estados de máxima densidad y presión) y enrarecimientos (estados de mínima densidad y presión) del medio.

Ondas sonoras en el aire

Son una serie de regiones, o perturbaciones de alta y baja presión que viajan en la misma dirección que la de los desplazamientos.

FIG.1

Un **pulso longitudinal** puede producirse fácilmente en un resorte alargado

Las espiras se desplazan en dirección del movimiento ondulatorio. Para el movimiento inicial, a la región comprimida le sigue una región alargada.

Movimiento de la onda

Puesto que la molécula en la cresta de la figura pronto estará en un valle, su movimiento en la dirección de la onda será cancelado rápidamente por su movimiento en la dirección opuesta.

FIG.2

Movimiento ondulatorio sobre la superficie del agua. Las moléculas en la superficie del agua se mueven en trayectoria casi circulares. Cada molécula se desplaza horizontal y verticalmente desde su posición de equilibrio, lo que se representa por medio de círculos.

ONDAS VIAJERAS UNIDIMENSIONALES

La amplitud de una onda de sonido

Es el grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, que corresponde a la intensidad del enrarecimiento y compresión que la acompañan. Cuanto mayor es, más intensamente golpean las moléculas el tímpano y más fuerte es el sonido percibido. Puede expresarse en unidades absolutas midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, o la diferencia de presiones entre la compresión y el enrarecimiento, o la energía transportada.

El desplazamiento máximo de la cuerda, A , recibe el nombre de la amplitud de la onda. Puesto que la velocidad del pulso de onda es v , éste viaja hacia la derecha una distancia x en un tiempo t .

FIG.3

Un pulso de onda unidimensional que viaja hacia la derecha con una velocidad v .

- En $t = 0$, la forma del pulso está dada por $y = f(x)$.
- En algún tiempo posterior t , la forma permanece invariable y el desplazamiento vertical de cualquier punto P del medio está dado por

$$y = f(x - vt).$$

Si el pulso de onda viaja hacia la izquierda el desplazamiento de la cuerda es:

$$y = f(x + vt)$$

El desplazamiento y , llamado algunas veces la función de onda, depende de las dos variables x y t . Por esta razón, suele escribirse $y(x, t)$, lo cual se lee como una función de x y t .

En consecuencia la función de onda y representa la coordenada y de cualquier punto del medio P en cualquier tiempo t .

Además, si t es fijo, entonces la función de onda y como una función de x define una curva que representa la forma del pulso en este tiempo.

En $t = 0$, la cresta es $x = x_0$; en un tiempo dt ulterior, la cresta está en

$x = x_0 + v dt$. Por consiguiente, en un tiempo dt la cresta se ha movido una distancia $dx = (x_0 + v dt) - x_0 = v dt$. Por lo tanto, la velocidad de onda es

$$v = \frac{dx}{dt}$$

=

dt

La velocidad de onda no debe confundirse con la velocidad transversal (que está en dirección y) de una partícula en el medio (ni con la velocidad longitudinal de una onda longitudinal).

La velocidad de una onda en la materia depende de la elasticidad y densidad del medio.

SUPERPOSICIÓN E INTERFERENCIA DE ONDAS

Principio de superposición

Si dos o más ondas viajeras se mueven a través de un medio, la función de onda resultante en cualquier punto es la suma algebraica de las funciones de onda de las ondas individuales.

Las ondas que obedecen este principio son conocidas como **ondas lineales**

Y se caracterizan por tener amplitudes de onda pequeñas.

Las ondas que violan el principio de superposición se denominan **ondas no lineales** y se caracterizan por sus grandes amplitudes.

Una consecuencia del principio de superposición es que *dos ondas viajeras pueden pasar una a través de otra sin destruirse o ni siquiera alterarse*.

De igual modo, cuando las ondas sonoras de dos fuentes se mueven por el aire, también se atraviesan una a la otra. El sonido resultante que uno escucha en un punto determinado es producto de ambas perturbaciones.

Interferencia

Combinación de ondas independientes en la misma región del espacio para producir una onda resultante.

Efecto que se produce cuando dos o más ondas se solapan o entrecruzan. Cuando las ondas interfieren entre sí, la amplitud (intensidad o tamaño) de la onda resultante depende de las frecuencias, fases relativas (posiciones relativas de crestas y valles) y amplitudes de las ondas iniciales.

Interferencia constructiva

Se produce en los puntos en que dos ondas de la misma frecuencia que se soplan o entrecruzan están en fase; es decir, cuando las crestas y los valles de ambas ondas coinciden. En ese caso, las dos ondas se refuerzan mutuamente y forman una onda cuya amplitud es igual a la suma de las amplitudes individuales de las ondas originales.

Interferencia destructiva

Se produce cuando dos ondas de la misma frecuencia están completamente desfasadas una respecto a la otra; es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra. En este caso, las dos ondas se cancelan mutuamente. Cuando las ondas que se cruzan o solapan tienen frecuencias diferentes o no están exactamente en fase ni desfasadas, el esquema de interferencia puede ser más complejo.

LA VELOCIDAD DE ONDAS EN CUERDAS

La velocidad de ondas mecánicas lineales depende exclusivamente de las propiedades del medio por el cual viaja la onda.

F

=

La fuerza radial puede expresarse como $F_r = 2F \sin \frac{\theta}{2}$.

El pequeño segmento tiene una masa $m = \mu s$. Debido a que el segmento forma parte de un círculo y subtende un ángulo 2θ en el centro, $s = R(2\theta)$, por lo que

$$m = \mu s = 2 R \mu \theta$$

Si aplicamos la segunda ley de Newton a este segmento, la componente radial del movimiento produce:

REFLEXIÓN Y TRANSMISIÓN DE ONDAS

Cada vez que una onda viajera alcanza una frontera, parte o toda la onda se refleja. Cuando el pulso alcanza la pared, se refleja. Debido a que el soporte unido a la cuerda es rígido, el pulso no transmite ninguna parte de la perturbación a la pared y su amplitud no cambia.

Cuando el pulso llega al extremo fijo de la cuerda, ésta produce una fuerza hacia arriba sobre el soporte. De acuerdo con la tercera ley de Newton, el soporte debe ejercer entonces una fuerza de reacción igual y opuesta. Esta fuerza hacia abajo causa que el pulso se invierta en la reflexión.

FIG.4

La reflexión de un pulso de onda viajera en el extremo fijo de una cuerda alargada. El pulso reflejado se invierte, pero su forma permanece igual.

FIG.5

- Un pulso que viaja hacia la derecha en una cuerda ligera unida a una cuerda más pesada.
- Parte del pulso incidente se refleja (e invierte), y parte se transmite a la cuerda más pesada.

FIG.6

La reflexión de un pulso de onda viajera en el extremo libre de una cuerda alargada. El pulso reflejado no se invierte.

FIG.7

- Un pulso que viaja hacia la derecha sobre una cuerda pesada unida a una más ligera.
- El pulso incidente se refleja parcialmente. En este caso, el pulso reflejado no se invierte. (Advierta que no se muestra el cambio en el ancho del pulso.)

ONDAS SENOIDALES

Una onda senoidal unidimensional que viaja hacia la derecha con una velocidad v . Una curva representa una

instantánea de la onda en $t = 0$, y la curva azul representa una instantánea en algún tiempo posterior t .

Esta forma de la función de onda muestra claramente la naturaleza *periódica* de .

Podemos expresar la función de onda en una forma conveniente definiendo otras dos cantidades, conocidas como el **número de onda angular** k y la **frecuencia angular** ω :

Número de onda angular

Frecuencia angular

Función de onda

para una onda senoidal

Frecuencia

Velocidad de

una onda senoidal

Relación general para

Una onda senoidal

La velocidad y la aceleración transversales no alcanzan sus valores máximos de manera simultánea. De hecho, la velocidad transversal alcanza su valor máximo (A) cuando $\phi = 0$, en tanto que la aceleración transversal alcanza su valor máximo (A) cuando $\phi = \pm \pi/2$.

ENERGÍA TRASMITIDA POR ONDAS SENOIDALES EN CUERDAS

A medida que las ondas se propagan a través de un medio, transportan energía.

Considere una onda senoidal que viaja en una cuerda. La fuente de energía es algún agente externo en el extremo izquierdo de la cuerda, el cual realiza trabajo al producir el tren de pulsos de onda.

$$E = \frac{1}{2} \mu A^2 \omega^2$$

FIG.8

Una onda senoidal que viaja a lo largo del eje x en una cuerda alargada. Cualquier segmento se mueve verticalmente y cada uno tiene la misma energía total. La potencia transmitida por la onda es igual a la energía contenida en una longitud de onda dividida entre el periodo de la onda.

FIG.9

- Un pulso que viaja hacia la derecha en una cuerda alargada sobre la cual se ha suspendido una masa.
- La energía se transmite a la masa suspendida cuando llega el pulso.

POTENCIA

Esta expresión es por lo general válida, de modo que podemos afirmar que *la potencia transmitida por*

cualquier onda senoidal es proporcional al cuadrado de la frecuencia y al cuadrado de la amplitud.

$\frac{1}{2}$

LA ECUACIÓN DE ONDA LINEAL

Esta es la ecuación de onda lineal cuando se aplica a ondas en una cuerda.

Ecuación de una onda lineal en general

Esta expresión se aplica en general a diversos tipos de ondas viajeras. Para ondas en cuerdas, y representa el desplazamiento vertical de la cuerda.