

Introducción a la Física Experimental

Guía de la experiencia

Propagación de ondas mecánicas armónicas transversales. Magnitudes características

Departamento de Física Aplicada
Universidad de Cantabria

Febrero 28, 2005

Tenga en cuenta que la lectura previa de esta guía y la comprobación de las ecuaciones le llevará del orden de tres horas, incluyendo la consulta de las palabras clave, y que la lectura de la bibliografía específica le llevará entre una y dos horas.

Resumen

El objeto de este experimento es observar la formación y propagación de una onda transversal en un medio material y determinar las magnitudes físicas que intervienen en la ecuación matemática que las describe: longitud de onda, frecuencia, velocidad de propagación. Se utiliza una máquina de ondas con la que se pueden generar ondas por medio de osciladores acoplados, cuyo movimiento individual puede visualizarse con facilidad, los cuales transmiten una perturbación periódica de un punto a otro en el seno de un medio material. La utilización de instrumentos electrónicos permite producir y mantener ondas armónicas caracterizadas por una frecuencia dada.

Además, se pueden generar ondas estacionarias y determinar la frecuencia fundamental y los armónicos asociados.

Introducción

Las ondas transportan *energía y cantidad de movimiento* a través del espacio sin que se produzca un transporte de materia. Las ondas mecánicas constituyen un caso particular de ondas que se propagan como una perturbación en un medio material. Pueden producirse en medios muy diferentes: una cuerda, un cristal, un gas ... La perturbación se produce en un punto O del medio y se propaga por él debido a la interacción del punto O con los puntos adyacentes. La perturbación o excitación consiste en la variación de la posición del punto

considerado respecto de su posición de equilibrio. Dicho punto O, que puede ser una pequeña porción del medio material o incluso una molécula, transmite, con un cierto retraso, la perturbación que ha sufrido a los puntos materiales o moléculas contiguos, de manera que, al cabo de un cierto tiempo t , dicha perturbación alcanza otro punto O' del medio, separado una cierta distancia d de O. Esto significa que la onda se propaga por el medio con una cierta velocidad v (*velocidad de la onda* o *velocidad de fase*). Cuando la perturbación se produce en dirección perpendicular a la dirección en la que se transmite, la onda se denomina onda transversal.

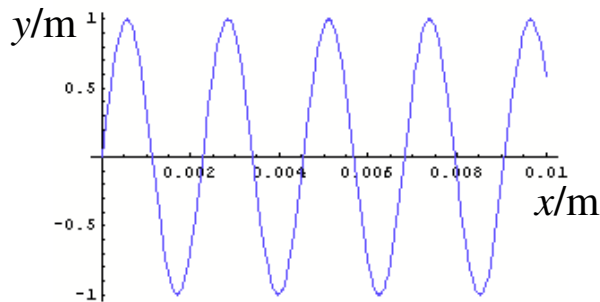


Figura 1: Onda sinusoidal.

Imaginemos un medio material en una dimensión. Una cuerda estirada en posición horizontal (a lo largo del eje X) puede representar este caso. Si el punto O, por ejemplo un extremo de la cuerda, se hace vibrar, arriba y abajo, con movimiento armónico simple (*m.a.s.*), se produce una onda sinusoidal a lo largo de toda la cuerda. Cada pequeño segmento de cuerda se mueve realizando un *m.a.s.* con la misma *frecuencia* f que tiene el *m.a.s.* del punto O. La forma que adquiere la cuerda, en un instante dado, se representa por la función sinusoidal

$$y(x) = A \operatorname{sen}(kx + \delta), \quad (1)$$

la cual describe el desplazamiento vertical de cada punto de la cuerda que dista x del punto O (ver Fig. 1). En la Ec. (1) A es la *amplitud* de la onda, k es el *número de ondas* y δ es la *fase inicial*. La distancia más pequeña que separa dos puntos, x_1 y x_2 , en el mismo estado de vibración (por ejemplo, tales que $y(x_1) = y(x_2) = +A$) es la *longitud de onda* λ . Se verifica que si dos puntos cualesquiera de la cuerda, x_1 y x_2 , están separados una distancia λ , entonces, $y(x_1) = y(x_2)$. Durante un *periodo*, T , la onda avanza una distancia igual a una longitud de onda y se verifica $v = \lambda/T$.

Para describir una onda que viaja hacia la derecha con velocidad v , se sustituye x en la Eq. (1) por $x' = x - vt$ y se obtiene

$$y(x, t) = A \operatorname{sen}(kx - \omega t + \delta), \quad (2)$$

en donde $\omega = kv$ es la *frecuencia angular*.

Cuando las ondas viajeras están confinadas en el espacio, como, por ejemplo, las ondas que se propagan en una cuerda fija por sus extremos, se producen reflexiones en ambos extremos y, por tanto, existen ondas propagándose en ambos sentidos que se combinan de acuerdo con el *principio de superposición*. Para una cuerda dada, existen ciertas frecuencias (*frecuencias de resonancia*) para las cuales se produce un estado vibratorio estacionario que se denomina *onda estacionaria*. La frecuencia de resonancia más pequeña se denomina *frecuencia fundamental* o primer armónico, f_1 , y en orden creciente, las restantes frecuencias de resonancia se denominan segundo armónico, f_2 , tercer armónico, f_3 , etc. Están relacionadas por la expresión $f_k = k f_1$, ($k = 1, 2, 3...$)

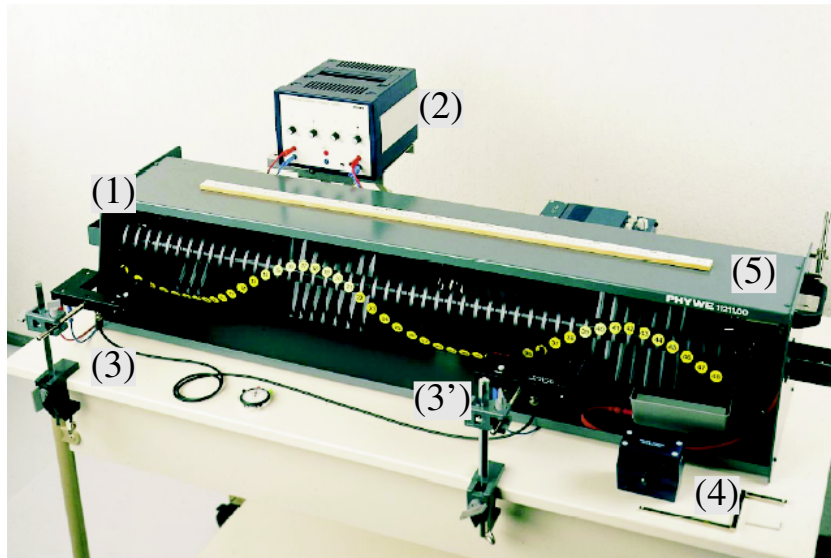


Figura 2: Máquina de ondas (1). Fuente de alimentación (2), barrera de luz con contador (3) y barrera de luz (3'), sistema de amortiguación (4) y regla de 1000 mm (5).

Descripción del material

Se dispone del siguiente material (Fig. 2):

1. Máquina de ondas [(1) en Fig. 2].
2. Fuente de alimentación (2 salidas de 15V /2A), o bien, contador 4x4 [(2) en Fig. 2].
3. Barrera de luz con contador [(3) en Fig. 2]
4. Barrera de luz [(3') en Fig. 2]
5. Interruptor de luz (2)
6. Motor (220 C AC) [(6) en Fig. 2]

7. Reductor 30:1 [(7) en Fig. 2]
8. Reductor 100:1
9. Cronómetro
10. Cable apantallado BNC (1500 mm)
11. Pinzas de mesa (2), nueces dobles (2)
12. Varillas cuadradas (2)
13. Cables de conexión (2 rojos y 2 azules)
14. Regla de 1000 mm [(5) en Fig. 2]

Reflexiones previas a la realización del experimento

1. -Defina todos aquellos conceptos que aparecen en la Introducción señalados en letra cursiva.
2. - ¿En qué se diferencia una onda transversal de una onda longitudinal?
3. - Escriba las semejanzas y las diferencias que existen entre ondas mecánicas y ondas electromagnéticas.
4. - Haga un gráfico de $y(x, t)$ en función de x y otro en función de t . ¿Qué representa cada uno? ¿Por qué se dice que esa onda es doblemente periódica?
5. - ¿Qué es un pulso de onda? Dé su expresión matemática.
6. - Dibuje una onda transversal viajera y una onda estacionaria y establezca las diferencias fundamentales entre ellas. Escriba la expresión matemática de una onda estacionaria. Defina nodos y vientres.
7. - Describa el fenómeno de resonancia en una cuerda. Establezca las condiciones de onda estacionaria en una cuerda fija por uno o por los dos extremos. Defina el concepto de frecuencia fundamental y armónicos.

Modo operativo

1. - En primer lugar observe cómo está construido el dispositivo. ¿Cómo se emula el acoplamiento entre dos “elementos de cuerda” consecutivos?
Discuta con el profesor la finalidad que tienen los diferentes componentes del dispositivo experimental y comprenda los correspondientes esquemas explicativos de que dispone, con el fin de utilizar la máquina de ondas en condiciones óptimas de funcionamiento. Este dispositivo consiste, esencialmente, en un sistema de 48 osciladores acoplados (están unidos por

una banda elástica continua) que representan los pequeños segmentos de cuerda que transmiten una perturbación a lo largo del eje X. Los discos amarillos permiten visualizar con comodidad el movimiento de cada oscilador por separado y observar la onda viajera desde una cierta distancia.

2. - Genere manualmente un pulso de onda y observe la perturbación. Para ello desplace verticalmente el primer oscilador. Genere una onda viajera y observe la perturbación. Para excitar el primer oscilador, ahora debe utilizar el motor, garantizando así un movimiento periódico. Utilice el reductor 30:1.
3. - Determine la frecuencia del *m.a.s.* de un oscilador y compruebe que es la misma para cualquier otro oscilador. Para ello, coloque el interruptor de luz en el primer oscilador de manera que quede alineado con la barrera de luz. Conecte el motor y seleccione una velocidad de rotación que produzca una onda transversal continua que contenga 3 ó 4 longitudes de onda. Una vez que se ha formado una onda estable, dispare el contador digital de la barrera y el cronómetro simultáneamente y determine el tiempo transcurrido para que se produzcan unos 100 pulsos. Repita la medida con otros osciladores. Tabule los resultados.
4. - Determine la longitud de onda. “Congele” la onda (utilice el dispositivo dedicado a tal fin) y mida con una regla su longitud de onda. Tabule los resultados.
5. - Determine la velocidad de propagación de la onda. A partir de los valores anteriores de la frecuencia y la longitud de onda. Coloque un interruptor de luz en el primer oscilador y otro, por ejemplo, en el oscilador 36 (Fig. 2) que puedan activar sendas barreras de luz. Partiendo de una situación en la que todos los osciladores están en su posición de equilibrio, determine el tiempo que tarda una perturbación producida en el primer oscilador en alcanzar el número 36. Determine también la distancia que los separa. A partir de esas dos medidas determine la velocidad con que se propaga la onda. Tabule los resultados y compare las velocidades obtenidas según los apartados a) y b).
6. - Repita el proceso (pasos 3, 4 y 5) seleccionando otra velocidad del motor.
7. - Genere una onda estacionaria (comente previamente con el profesor cómo preparar el dispositivo experimental). Vea la Fig. 2. Utilice el reductor 100:1.

a) *Ambos extremos fijos.* Tenga presente que en este caso el número de nodos Z que se forman verifica la siguiente expresión

$$Z = \frac{f_k}{f_1} + 1.$$

- b) *Un sólo extremo fijo* (opcional). Tenga presente que en este caso el número de nodos Z que se forman verifica la siguiente expresión

$$Z = \frac{1}{2} \left(\frac{f_k}{f_1} + 1 \right).$$

Busque, en cada caso, la frecuencia fundamental y algún armónico. Debe aumentar gradualmente la velocidad del motor hasta encontrar las sucesivas ondas estacionarias que se pueden formar. Tabule las sucesivas frecuencias de resonancia encontradas.

Realice el cálculo de errores pertinente, en las diferentes partes del experimento.

El motor con la marcha 30:1 se conecta al conductor excéntrico de la máquina de ondas para los pasos 1 a 6. La marcha 100:1 se usa para el paso 7 (PARA DETALLES VER EL MANUAL DE INSTRUCCIONES DE LA MÁQUINA DE ONDAS).

Algunas observaciones relativas al dispositivo experimental y procedimiento.

Cuando se prepara el dispositivo de la Fig. 2, la barrera de luz debe colocarse de tal manera que su camino óptico sea atravesado por el interruptor de luz en cada cero del oscilador, o en la posición de máxima deflexión, dependiendo de cómo se realice cada medida. El contador digital trabaja como un contador de pulsos.

La determinación de la velocidad de fase por el procedimiento b) se realiza conectando las barreras de luz a las dos primeras entradas del contador 4 x 4. La primera barrera de luz dispara el cronómetro y la segunda barrera, lo para.

El sistema de amortiguamiento debe ser usado para amortiguar reflexiones en el extremo libre del sistema oscilante, cuando se buscan estados resonantes. Para hacer esto, se coloca el baño (lleno de agua) de atenuación situado debajo del último oscilador (consultar con el profesor).

Para la detección de las frecuencias naturales, en el caso 7a), se fija el borde derecho del sistema oscilante, esto significa que el oscilador 48 se fija a la máquina de ondas con la segunda varilla de conexión. Partiendo de una frecuencia 0, uno busca aquellas frecuencias para las cuales se forman ondas estables de gran amplitud. Esto se hace gradualmente aumentando la velocidad de rotación del motor. Los extremos del sistema oscilante pueden hacerse oscilar en fase y en oposición de fase, dependiendo de la varilla de conexión que se utilice.

Finalmente, en el caso 7b), el borde derecho del oscilador se deja libre. Se elige una pequeña amplitud y se suprime el sistema de amortiguamiento. Para obtener la frecuencia fundamental podemos identificar L , la longitud del sistema oscilante, con $\lambda/4$. Después, partiendo de la más alta frecuencia de

excitación, se buscan aquellas frecuencias que permitan la formación de ondas permanentes con grandes amplitudes, haciendo decrecer gradualmente la velocidad de rotación del motor. Las frecuencias se determinan experimentalmente con ayuda del contador digital y del reloj.

Preguntas adicionales relacionadas con el experimento

1. Describa alguna aplicación del fenómeno de resonancia, en el campo de las ondas sonoras por ejemplo.

Referencias

- [1] Tipler P. A., Física, Ed. Reverté S.A., Barcelona (1999), 4ª edición, tomo I, lec.14-16.
- [2] En la siguiente dirección de internet, se te ofrece la posibilidad de construir una máquina de ondas con medios extremadamente sencillos:
HYPERLINK <http://www.tianguisdefisica.com/máquina.htm>