

# Physica

## Conceptos fundamentales de Física en 2º de Bachillerato

I.E.S. Aguilar y Cano

Movimiento Ondulatorio

J.M.L.C.

### Introducción

En este capítulo vamos a analizar las propiedades de las ondas que aparecen históricamente como una forma peculiar de movimiento, característica de ciertos fenómenos como el sonido, las ondas superficiales en los líquidos, las ondas electromagnéticas, etc., y que se diferencian claramente del movimiento corpuscular o desplazamiento de partículas. El carácter corpuscular u ondulatorio aparecía así como un criterio para la clasificación de los fenómenos. Aquí nos limitaremos a las ondas que se producen en medios elásticos, a las que se da el nombre de mecánicas, aunque muchas magnitudes y relaciones serán válidas para cualquier tipo de onda.

### Generalidades sobre el movimiento ondulatorio

Una característica fundamental del movimiento ondulatorio es la ausencia de transporte neto de partículas materiales. La observación de los fenómenos que llamamos ondulatorios —luz, sonido, ondas superficiales en los líquidos, etc.— nos lleva a la conclusión de que *se propaga energía y cantidad de movimiento*, sin que ello suponga un transporte de materia, ya que las partículas del medio se limitan a oscilar en torno a sus posiciones de equilibrio por la acción de las fuerzas elásticas. Es decir, lo que se propaga es la *perturbación producida en un punto* a otros puntos del medio.

#### Tipos de ondas

Según la forma en que se propagan las ondas pueden ser *longitudinales*, en las que la onda se propaga en la misma

dirección de la vibración de las partículas, y las *transversales*, en las que dichas direcciones son perpendiculares entre sí. En el caso del sonido, cuando se propaga a través del aire o de otro fluido, como las fuerzas que actúan entre las partículas son débiles (comparadas con las de los sólidos), la propagación de la onda sólo puede realizarse en la misma dirección de la oscilación, mediante las colisiones que se producen entre las partículas. Así, pues, en este tipo de medios las ondas mecánicas sólo pueden ser longitudinales.

#### Velocidad de una onda

Una característica fundamental de los movimientos ondulatorios es que su *velocidad de propagación sólo depende de las propiedades del medio*. Así, todos los sonidos se propagan con la misma velocidad en el aire mientras no se modifiquen las propiedades de éste. Conviene distinguir claramente entre velocidad de propagación de la onda, y la velocidad con que se mueve cada uno de los puntos materiales del medio en su oscilación. Esta última, como se recordará varía armónicamente según la ecuación  $v = -A\omega \sin \omega t$

#### Magnitudes características

Ya nos hemos referido a la velocidad de propagación. Conviene considerar ahora un aspecto importante de las ondas: su periodicidad en el espacio, es decir, que cada cierta distancia se repite la elongación y el movimiento de los puntos del medio.

En efecto, entre cada dos crestas o entre cada dos valles del perfil de la onda, encontraremos una distancia regular a la que se da el nombre de *longitud de onda*, que representaremos por  $\lambda$ .

Nos encontramos entonces con una doble periodicidad: por una parte, la elongación de *cada punto* se repite a intervalos regulares de tiempo  $T$ , que recibe el nombre de *periodo de la oscilación*, y, por otra, *en un determinado instante*, las elongaciones y movimiento de los puntos del medio se repiten a distancias regulares que denominamos *longitudes de onda*.

### Ecuación del movimiento ondulatorio

Al comunicar un movimiento oscilatorio a una partícula de un medio elástico, se propaga la perturbación a los restantes puntos del medio con una velocidad  $v$ . Si la perturbación (por ejemplo la vibración de una cuerda) se inicia en el origen de coordenadas  $O$ , con  $x = 0$  en este punto, el movimiento será vibratorio armónico de ecuación

$$y(0, t) = A \cdot \sin \omega t$$

ya conocida, pero los demás puntos de la cuerda irán siendo alcanzados por la perturbación, por lo que se deberá deducir una ecuación pendiente de los parámetros  $x$  y  $t$ , es decir  $y(x, t)$ .

Un punto cualquiera de la cuerda  $P$  que diste  $x$  del origen empezará a oscilar

#### Contenido

Introducción.....	1
Generalidades sobre el movimiento ondulatorio.....	1
Ecuación del movimiento ondulatorio.....	1
Principio de Huygens.....	2
Principio de superposición.....	2

igual que él, pero con un tiempo de retraso  $t - x/v$ , pues  $x/v$  será el tiempo empleado por la onda en ir de O a P. Luego, la elongación del punto P será:

$$y_p(x, t) = y_o(0, t - x/v) = A \cdot \sin \omega(t - x/v)$$

ecuación que permite conocer la elongación de un determinado punto de la cuerda en cualquier instante de tiempo.

### Otras expresiones para la ecuación de onda

Haciendo  $\omega = 2\pi/T$ :

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right) =$$

$$y = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{Tv} \right)$$

y como  $Tv = \lambda$  (longitud de onda),

$$y(x, t) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Se denomina *número de ondas* al número de longitudes de onda que hay en una distancia de  $2\pi$ , es decir, al cociente

$$2\pi/\lambda \text{ y se representa por } k: k = \frac{2\pi}{\lambda},$$

por lo tanto la ecuación también la podemos escribir:

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

En la deducción de la ecuación se ha supuesto que la onda se propaga en el sentido positivo del eje de abscisas, pero si la onda viaja en sentido contrario su ecuación será:

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

## Principio de Huygens

Christian Huygens enunció en 1678 el principio de que: *Todos los puntos de un frente de ondas se convierten en emisores de ondas elementales que se propagan en todas direcciones y el nuevo frente de*

*ondas es la envolvente de todas las ondas secundarias.*

### Difracción

Si una onda se encuentra en su camino con un obstáculo, por ejemplo, una rendija, debido al principio de Huygens todos los puntos se convierten en centros emisores de ondas elementales, por lo que lejos de anularse, se propaga a través del obstáculo como si hubiera sido generada por él. A este fenómeno se le denomina *difracción*.

### Reflexión y refracción

Cuando una onda llega a la superficie de separación de dos medios distintos suelen producirse dos ondas, pues parte de la energía penetra en el nuevo medio y la restante permanece en el primero. La onda que pasa al segundo medio cambia de dirección de propagación y se denomina *onda refractada*, mientras que la que no pasa se denomina *onda reflejada*. El principio de Huygens es de gran utilidad para poder interpretar correctamente este fenómeno.

Se dice que la dirección de la onda es la del rayo, es decir, la perpendicular al frente de ondas y el ángulo de incidencia  $\theta_i$ , el que forma dicho rayo con la normal a la superficie de separación de los dos medios.

### Leyes de la reflexión

Las leyes de la reflexión se resumen así:

- 1) *El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están contenidos en el mismo plano.*
- 2) *El ángulo de incidencia y reflexión son iguales.*

### Leyes de la refracción

- 1) *El rayo incidente, la normal y el rayo refractado están contenidos en el mismo plano.*
- 2) *Los senos de los ángulos de incidencia y refracción y las velocidades a que se propagan,*

*cumplen con la expresión:*

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

Es fácil observar que si la velocidad de propagación del segundo medio es menor que en el primero  $v_2 < v_1$ , el rayo refractado se acercará a la normal; en caso contrario se alejará de la normal. En el caso particular de las ondas luminosas, se define como *índice de refracción* de un medio cualquiera al cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio,

es decir:  $n_1 = \frac{c}{v_1}; n_2 = \frac{c}{v_2}$  con lo que la

$$\text{segunda ley quedará: } \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{n_2}{n_1}$$

## Principio de superposición

El problema de superposición se plantea cuando por un medio se propagan dos o más ondas. Según el *principio de superposición*, la elongación de la onda resultante es la suma de las elongaciones de cada una por separado, sin perder ninguna de ellas sus características, es decir, después de superponerse, cada una se propaga de la misma forma que antes. La superposición de varios movimientos ondulatorios en el espacio recibe el nombre de *interferencias*. Dos ondas, al sumarse, pueden dar lugar a una onda de mayor amplitud que las componentes o de amplitud menor en el caso de interferencia negativa.

### Ondas estacionarias

Un caso interesante de interferencia es el de las ondas estacionarias, que se producen cuando dos ondas iguales se propagan en sentidos contrarios. En realidad no es un movimiento ondulatorio propiamente dicho, pues cada punto del medio vibra con un MAS de distinta amplitud, salvo los nodos, que siempre permanecen en reposo, y por tanto la energía no se propaga.