

VÍDEO #1 – MECÁNICA ONDULATORIA

La luz es uno de los fenómenos naturales más importantes para la humanidad. Es indispensable para la vida, y nos ha servido como herramienta para desentrañar algunos de los misterios más increíbles de nuestro entorno.

No es de sorprenderse, entonces, que el día de hoy lo hayamos dedicado a celebrar su existencia. Después de todo, sin la luz, no podríamos ser capaces de ver, las plantas no podrían realizar la fotosíntesis, y las telecomunicaciones, la internet, y la mayoría de las invenciones de la era informática serían poco más que un sueño.

En la siguiente miniserie de videos, intentaremos explicar, de una manera sencilla y fácil de entender, qué es exactamente la luz, cuáles son sus propiedades, y cuáles han sido las aplicaciones que hemos encontrado para dichas propiedades.

Pero antes de que entremos de lleno a explicar qué es la luz, primero debemos entender qué son las ondas. Porque, sorpresa, la luz está íntimamente relacionada con ellas. Y para comprender bien a profundidad qué son las ondas, primero tenemos que entender lo que es el Movimiento Armónico Simple.

Comencemos por el principio. Imaginémonos un sistema físico en el cual objeto se mueve de un lado a otro, una, y otra, y otra vez. Este sistema puede ser, por ejemplo, un péndulo; un metrónomo musical; o simplemente un bloque que está enganchado a unos resortes.

Estos 3 sistemas poseen 2 características en común: en primer lugar, su movimiento es periódico. Es decir, se repite cada cierto tiempo. Y, en segundo lugar, el objeto que oscila, al cual llamaremos “Oscilador Armónico”, lo hace con respecto a una posición central, que llamaremos “punto de equilibrio”.

Para el caso del péndulo y el metrónomo, este punto de equilibrio se alcanza cuando ambos están completamente verticales. Mientras que, con el sistema de la masa y el resorte, el punto de equilibrio se da cuando los resortes no están ni estirados, ni comprimidos.

Otro ejemplo podría ser la Tierra girando en torno al Sol en una órbita circular, solo que, en este caso, en vez de un movimiento armónico, tendríamos 2: uno vertical, y otro horizontal, pero en ambos casos el punto de equilibrio estaría ubicado el centro del círculo.

Esta posición de equilibrio es el lugar en donde el oscilador prefiere estar, pero si lo perturbamos, desplazándolo en cualquier dirección, aparecerá una fuerza “restauradora” que intentará regresarlo a su sitio, iniciando el vaivén del oscilador, y, si las condiciones son perfectas, este vaivén continuará eternamente.

Con esto en mente, ahora vayamos al siguiente nivel.

Supongamos que, en lugar de tener solo una masa y un resorte, ahora tenemos 2, 3, o cualquier otro número que se nos ocurra; todas ellas conectadas entre sí a través de los resortes. Cuando esto ocurre, decimos que los osciladores están “Acoplados”. Y, si intentamos crear una perturbación en alguno de ellos, esta, en lugar de mantenerse confinada a una sola masa, será transferida al siguiente oscilador, que, a su vez, la pasará al siguiente, y al siguiente, y así sucesivamente.

Cada oscilador independiente no se mueve más que una distancia muy pequeña, confinada por la fuerza que la liga a sus vecinos y que le impide escaparse. Y, sin embargo, la perturbación es capaz de propagarse a través de grandes distancias, al ser transferida desde una masa a la otra.

Hemos pasado de tener una oscilación simple, a tener una onda. Una onda mecánica, en este caso.

Dependiendo de cómo se muevan los osciladores con respecto a la perturbación, pueden existir 2 tipos de ondas mecánicas distintas:

Si las masas oscilan paralelas a la dirección en la que se propaga la perturbación, se llaman “Ondas Longitudinales”.

Si, por el contrario, las oscilaciones se dan perpendiculares a la dirección en la que se propaga la perturbación, se llaman “Ondas Transversales”.

Pero, longitudinales o transversales, en ambos casos lo que se está propagando no son los osciladores armónicos, sino la propia perturbación, a través del medio.

Estos osciladores no tienen por qué limitarse a unas simples masas conectadas por resortes. Las ondas pueden propagarse a través de casi cualquier medio.

Por ejemplo, cuando se genera una perturbación en un objeto sólido, los propios átomos, ligados por enlaces químicos, asumen el rol de osciladores armónicos acoplados, y la interacción química asume el papel de fuerza restauradora. Cada átomo va transmitiendo la perturbación a sus vecinos, como lo haría el sistema de masas acopladas. Produciendo ondas que pueden ser longitudinales, como las vibraciones en un cristal. O transversales, como en una cuerda que vibra.

Las ondas de sonido ocurren cuando lo que se perturba es el aire a nuestro alrededor. Cuando se produce un sonido, este hace vibrar a las moléculas del aire, moviéndolas y haciendo que se compriman y luego se expandan. Cuando el aire se comprime, la presión aumenta, y al expandirse, disminuye. Son estas ondas de alta y baja presión, lo que nuestro oído percibe como sonido.

Dada su naturaleza, el sonido es una onda puramente longitudinal. Sin embargo, existen ondas que, por extraño que parezca, son una combinación de ondas longitudinales, y *transversales*.

En las olas que se producen en altamar, las moléculas del agua oscilan longitudinal y transversalmente *al mismo tiempo*. La suma de estos 2 movimientos provoca que cada molécula gire en torno a un círculo, los cuales están desfasados y que, en conjunto, forman una ola. Y lo mismo con las ondas sísmicas que producen los terremotos. Solo que, en lugar de círculos, las moléculas que conforman el suelo forman elipses.

Y, en los estadios cuando hay un importante partido llevándose a cabo, pueden llegar a existir ondas humanas.

Aunque parezcan demasiado complejas a primera vista, lo cierto es que las ondas pueden describirse matemáticamente con mucha facilidad, y sin necesidad de tanta palabrería técnica. Todo lo que se necesita son unos cuantos términos físicos.

La denominada “Amplitud” de la onda, está determinada por lo lejos que se ha movido un oscilador desde su posición de equilibrio hasta su punto de mayor desplazamiento. En otras palabras, la amplitud nos dice la magnitud que puede llegar a exhibir una perturbación.

Los lugares donde la perturbación es más grande reciben se llaman “Crestas”, mientras que los puntos donde es más baja se reciben el nombre de “Valles”.

La longitud de onda, denotada por la letra griega Lambda, nos dice la distancia que hay entre cresta y cresta, o entre valle y valle; y en el caso de las ondas sonoras, la longitud de onda también nos ayuda a saber qué tono tendrá un determinado sonido.

Sonidos con longitudes de onda cortas los percibimos como más agudos, mientras que aquellos con longitudes de onda largas los percibimos como más graves.

La frecuencia “ f ”, por su parte, nos dice cuántas oscilaciones son producidas en un segundo, o cuántos vaivenes completa un oscilador.

Pero es que, además, tanto la longitud de onda como la frecuencia están íntimamente relacionadas, y de una manera muy especial: la velocidad a la cual una onda se mueve es exactamente igual al producto entre su longitud de onda y su frecuencia, y dado que esta velocidad debe mantenerse constante siempre, eso quiere decir que, si la frecuencia aumenta, la longitud de onda debe disminuir, y si la frecuencia disminuye, la longitud de onda debe aumentar.

Hasta ahora, solo hemos visto ondas que vibran en una única dimensión. Pero lo cierto es que también pueden existir ondas que vibren en 2 dimensiones, como las de una membrana, e incluso en 3 dimensiones, como... las vibraciones en un cubo de gelatina.

Ya sea que vibren en una, 2, o 3 dimensiones, todas estas ondas tienen su origen a partir de resolver una sola ecuación: La Ecuación de Onda.

Introducida por el matemático francés Jean d'Alembert, la ecuación de onda es capaz de predecir, con una sorprendente precisión, cómo una perturbación se propagará a través de un medio, generando una serie de ondas.

El tipo más simple de onda son las denominadas “Ondas Senoidales”, y la razón es bastante obvia, su forma es idéntica a la de la función seno. También se les suele llamar “Ondas Armónicas”, y son con las que estamos más familiarizados.

Las ondas planas son el tipo de onda más simple que puede propagarse en 3 dimensiones. En ellas, en lugar de tener una ondulación continua, vemos cómo se propagan una serie de frentes de onda completamente planos. Estos frentes están compuestos por partículas del medio que se encuentran en fase. Es decir, que están sincronizadas.

Las ondas bidimensionales, que no tienen un nombre concreto. Pueden darse de muchas formas, pero las más comunes son las ondas que muestran una forma circular.

Una cosa curiosa de estas “ondas circulares”, es que, si dejamos que una de estas se propague y expanda durante el suficiente tiempo, va a llegar un momento en que sus frentes de onda se volverán tan grandes, que desde nuestra perspectiva los veremos como si fuesen ondas planas. De la misma manera que la tierra, a pesar de ser esférica, parece plana a escalas tan pequeñas como la nuestra.

Las ondas también cuentan con una propiedad muy interesante, y muy útil, llamada “Principio de Superposición”.

Imaginémonos 2 ondas viajando en direcciones opuestas. Conforme avanza el tiempo, ambas irán acercándose cada vez más, hasta un punto en el que, en un principio, uno pensaría que acabarían chocando como lo harían 2, por ejemplo, 2 bolas de billar.

En lugar de eso, las ondas acaban combinándose; sumando sus valores en cada punto del espacio, y creando, temporalmente, una onda completamente nueva. Esto es a lo que nos referimos cuando decimos “Superposición”, y una vez esta superposición termine, cada onda seguirá su camino como si nada hubiese ocurrido.

Esto también ocurre tanto para el caso de las ondas senoidales, como en el caso de las ondas circulares, y las ondas planas.

Hay lugares en donde las ondas están perfectamente sincronizadas, por lo que, al juntarse, la superposición genera una onda aún más grande. Esto se llama “Interferencia Constructiva”. Si, por el contrario, las ondas están desfasadas, y la cresta de una coincide con el valle de la otra, entonces al superponerse, estas se cancelarán completamente, lo que llamamos “Interferencia Destructiva”.

Las Ondas Estacionarias son un tipo muy especial de onda cuya existencia es consecuencia directa de estas interferencias. Estas se generan a partir de las interferencias de 2 ondas de igual amplitud y frecuencia, pero que viajan en direcciones opuestas. La onda resultante permanece inmóvil, confinada a vibrar dentro de los límites que establecen sus bordes.

Y ahora, alguien podría preguntarse, ¿Y qué pasaría si las 2 ondas viajasen en la misma dirección? ¿O qué pasaría si, en lugar de 2, tuviéramos muchas más ondas?

Bueno, lo genial del Principio de Superposición es que se sigue cumpliendo independientemente del número de ondas que se estén solapando, aún si estas viajan en la misma dirección, o en direcciones opuestas.

Esto significa que, combinando ciertas ondas de manera cuidadosa, y eligiendo bien sus amplitudes y frecuencias, podemos superponerlas y obtener la onda que deseemos.

Esto, precisamente, fue de lo que el matemático francés Joseph Fourier se dio cuenta a principios del siglo XIX.

Fourier logró demostrar que cualquier tipo de onda que uno pueda imaginarse, sin importar lo grande, estrecha, o complicada que fuese su estructura, puede crearse al superponer infinitas ondas armónicas, bien calibradas, claro está.

Y, por otro lado, si tenemos una onda particularmente compleja, y lo que queremos es encontrar las ondas armónicas que la conforman, todo lo que debemos hacer es aplicarle la Transformada de Fourier, que nos dice cuáles ondas han sido superpuestas, y con qué calibración.

Esto es especialmente útil por las aplicaciones que tiene. Por ejemplo, en la música. Los sintetizadores aprovechan la idea de Fourier y son capaces de crear ondas cuadradas, triangulares, y hasta pueden imitar el timbre de otros instrumentos, como el de una campana. Todo, a partir de la combinación de ondas puramente senoidales.

Pero también es de crucial importancia en telecomunicaciones. Donde, en lugar de ondas sonoras, se utiliza a la mismísima luz. Esto se debe a que, spoiler, la luz también es otro tipo de onda. Un tipo muy peculiar, cabe mencionar.

En los próximos vídeos hablaremos más a profundidad sobre qué es y de dónde surge el comportamiento ondulatorio que tiene la luz, algunas de sus curiosas propiedades, y los fenómenos de los que forma parte.

FIN