

AC 14 31

Esta es la voz de la Universidad Nacional de Educación a Distancia del Ministerio de Educación y Ciencia, emitiendo a través del tercer programa de Radio Nacional de España su emisión dedicada a los alumnos del curso de acceso directo a la universidad para mayores de 25 años. En nuestra emisión de hoy les ofreceremos Introducción a las Ciencias Físico-Naturales y Lenguaje. En primer lugar, Introducción a las Ciencias Físico-Naturales.

La ilustración de hoy se titula Oscilaciones. Quizá la característica más notable de una oscilación sea la periodicidad de sus movimientos. ¿Cuál es el motivo de la regularidad o periodicidad de numerosos fenómenos de la naturaleza? Desde los ritmos biológicos que regulan nuestro metabolismo hasta las pulsaciones de ciertas estrellas, pulsars, el universo encierra numerosísimos fenómenos periódicos distintos.

Es la repetición indefinida de una misma situación física la característica común de todos estos fenómenos. El lapso de tiempo transcurrido entre dos realizaciones consecutivas se denomina periodo. Matemáticamente, las magnitudes físicas relativas al fenómeno estudiado serán funciones periódicas del tiempo, cuyo estudio corresponde a una parcela bien definida del análisis matemático.

La vibración de un resorte, el movimiento del péndulo de un reloj de pared, la rotación de la tierra, son otros tantos fenómenos periódicos caracterizados por cierto periodo. Condición previa a la existencia de todo movimiento periódico será el confinamiento de la partícula o sistema de partículas en el interior de cierta región finita del espacio. ¿Pero cómo lograrlo? Pues bien, situando el sistema en el interior de un pozo de potencial, de modo que encuentre a cierta distancia una barrera infranqueable o muro de potencial.

Esto equivale a someterle a una fuerza atractiva de naturaleza generalmente central y de módulo creciente con la distancia. La partícula queda así atrapada en el interior del pozo, como sucede con un electrón cortical de un átomo, un planeta girando en torno al Sol o una masa suspendida del extremo del resorte, por citar algunos ejemplos sencillos. Suele insistirse mucho en el estudio de las oscilaciones armónicas.

¿Por qué este interés y cuál es el motivo del nombre de armónicas dado a tales oscilaciones? Vayamos al principio. El movimiento periódico más sencillo es el armónico simple resultante de resolver la ecuación del péndulo, del resorte o de cualquier otro oscilador lineal de un solo grado de libertad. Su ley horaria es una función sinusoidal de ωt , siendo ω la frecuencia angular de oscilación determinada por las constantes mecánicas o parámetros del oscilador y t el tiempo.

El período del movimiento es 2π partido por ω . Sin embargo, la mayoría de fenómenos oscilatorios obedecen a ecuaciones complicadas, cuya solución no es tan simple como la indicada. Tales fenómenos se denominan anarmónicos. Ahora bien, admitidos todavía

periódicos, matemáticamente el llamado Teorema de Fournier demuestra que toda función periódica, y nuestra solución deberá serlo, es desarrollable en serie de funciones sinusoidales o armónicas.

Lo importante es comprobar que una oscilación periódica es bien armónica o bien desarrollable en serie de funciones armónicas. El calificativo de armónica procede del terreno musical, al representarse cada sonido puro por una sola frecuencia, excitando un modo fundamental de vibración de nuestro tímpano. Mientras que la anarmonía se produce al mezclarse frecuencias o sonidos distintos.

Hasta aquí nos hemos referido a las oscilaciones como fenómenos periódicos, pero ¿es toda oscilación periódica? No siempre. Veamos algunos ejemplos. Si superponemos dos movimientos armónicos simples de igual dirección, pero de distinta frecuencia, obtenemos cierto movimiento armónico simple de amplitud modulada.

Cuando ambas frecuencias son próximas, el movimiento es casi periódico, pero no rigurosamente periódico. Otro tanto sucede las oscilaciones amortiguadas con un coeficiente de amortiguamiento pequeño. Su amplitud crece exponencialmente con el tiempo, pudiendo considerarse aproximadamente constante en cortos lapsos de tiempo.

Si bien en rigor, se trata de un fenómeno no periódico. Matemáticamente, se definen e interpretan los fenómenos oscilatorios. Sin embargo, ¿qué es en esencia una oscilación? Se trata de un movimiento confinado en las proximidades de una posición de equilibrio estable con la correspondiente actuación de fuerzas restauradoras del equilibrio o fuerzas elásticas.

Si la separación del sistema de esta configuración de equilibrio puede considerarse pequeña, oscilaciones de pequeña amplitud, la fuerza de recuperación será lineal y, consecuentemente, tendremos oscilaciones lineales. No obstante, si en el pozo de potencial nos separamos demasiado de la posición de equilibrio, entraremos en la región no lineal del sistema oscilante, de tratamiento matemático mucho más complejo. Si, además de las fuerzas elásticas de restauración que determinan el pozo de potencial y definen la posición de equilibrio o centro de atracción del oscilador, actúan fuerzas disipativas como la de amortiguamiento viscoso, el sistema tenderá asintóticamente a esta posición de equilibrio al agotarse paulatinamente su energía mecánica debido a su transformación en calor.

¿Qué importancia física tiene el hecho del acoplamiento o vinculación entre osciladores? La importancia es grande y no se limita al caso de los péndulos o de los resorts acoplados, en donde la energía mecánica total se distribuye entre todos los osciladores del sistema, transmitiéndose de los unos a los otros. En efecto, es precisamente este el mecanismo de generación de ondas elásticas en la materia. Así los medios materiales están constituidos por un elevadísimo número de componentes microscópicos, átomos, moléculas o iones ligados entre sí por fuerzas de enlace que determinan las propiedades del medio.

Es por ello imposible provocar el desplazamiento de uno de estos átomos o moléculas sin

perturbar a los demás. Por ejemplo, no podemos hacer oscilar a un átomo de una red cristalina en torno a cierta posición de equilibrio en la misma sin producir oscilaciones en los átomos vecinos, que a su vez transmitirán su estado oscilatorio a los demás, obteniéndose así un sistema de osciladores atómicos acoplados. En este caso, el número de osciladores o grados de libertad del sistema será muy elevado, siendo el orden de magnitud del número de Avogadro.

¿Cómo pueden mantenerse las oscilaciones en la práctica pese a la existencia de fuerzas amortiguadoras? Un péndulo oscilando en el aire tardará cierto tiempo en pararse, pero se parará, lo cual sucederá aún más deprisa si lo sumergimos en un fluido más viscoso, como el agua, por ejemplo. El mantenimiento de las oscilaciones exigirá, por consiguiente, el suministro o bombeo periódico de energía al oscilador, tal es el fundamento de las llamadas oscilaciones forzadas. Un fenómeno importante en estas oscilaciones forzadas lo constituye la resonancia.

¿Podría comentarnos dicho fenómeno y su origen? Efectivamente. Gracias a la fuerza externa aplicada, son posibles las oscilaciones periódicas permanentes en un sistema disipativo y con una frecuencia que es, precisamente, la misma que la de la fuerza excitatriz. Ahora bien, tal frecuencia aparece en la expresión de la amplitud de la oscilación forzada, de tal suerte que el sistema oscilante recibe ahora una potencia exterior función de la frecuencia y tal que alcanza su máximo valor cuando la frecuencia externa o de excitación coincide con la natural de oscilación del sistema, aquella que posee bajo la acción exclusiva de las fuerzas elásticas y de inercia.

Cuando esto ocurre, se dice que el sistema oscila en resonancia con la fuerza externa, siendo entonces su amplitud de oscilación máxima. ¿Puede existir un estado de resonancia producido por la acción exclusiva de fuerzas constantes? El fenómeno de la resonancia, con todas sus implicaciones, no se presenta si la fuerza externa, con independencia de su magnitud, es constante. De este modo, la existencia de fuerzas periódicas presentará, a priori, una problemática especial.

Pensemos, por ejemplo, en construcciones como puentes, diques, edificios sometidos a las fuerzas periódicas del viento, de las olas del mar o de aquellas derivadas de la existencia de maquinaria a movimiento, vehículos. El diseño de las estructuras deberá tener presente no sólo la existencia de cargas fijas, pesos aplicados, presión del agua o del aire, momentos torsores y de cizalladura, sino también las posibles componentes periódicas y sobre todo, sus respectivas frecuencias. Como ejemplo de sistema resonante, suele ponerse el del famoso puente colgante de Tacoma Narrows, en Florida, hundido hace unos cuarenta años a causa de la fuerza periódica del viento en resonancia con la suya propia de oscilación.

En consecuencia, el efecto producido por fuerzas periódicas puede ser enormemente superior que el de fuerzas constantes de similar magnitud debido al fenómeno de la resonancia. ¿Está este fenómeno presente en otros campos de la física? Efectivamente. En acústica, en óptica, en física nuclear, se presentan situaciones en las que un sistema oscilante se haya estimulado por un agente externo, periódico, capaz de intercambiar energía con él.

La selectividad en el trasvase energético con relación a la frecuencia de oscilación identifica siempre a un fenómeno de resonancia. Así, cuando un átomo de sodio recibe luz amarilla, se provoca la excitación del mismo a niveles de energías superiores, mientras que esto no sucede al recibir luz de otro color, es decir, de frecuencia distinta. Las reacciones químicas se desencadenan frecuentemente merced a un fenómeno resonante que facilita enormemente los intercambios energéticos a nivel molecular.

Incluso en el terreno biológico, fenómenos como las alergias podrían tener su origen en cierta resonancia existente entre la actividad cíclica del transporte a través de la membrana celular y los estados oscilatorios de agentes químicos, eléctricos, ópticos. La moderna enzimología hallará sin duda en la resonancia un esquema adecuado para la descripción de los procesos de activación o disparo de numerosas funciones vitales, desde la transmisión de impulsos biológicos a través del sistema nervioso hasta la reacción del adenosine trifosfato, generador de energía en el interior de la célula e impulsor de su metabolismo.