

LA RESONANCIA: UN ÚNICO FENÓMENO, PERO CON MUCHAS MANIFESTACIONES

FÉLIX MTNEZ.-OLIVA¹, SANTIAGO GARCÍA DALLY¹ Y MERCEDES NAVARRO FERNÁNDEZ¹

1. Departamento de Física Aplicada, Facultad de Física, Universidad de la Habana.

La costumbre generalizada, de nuestros cursos así como textos y docentes, es tratar las diversas manifestaciones de este interesante fenómeno como si fueran problemas o situaciones diferentes, sin nada o con muy poco que ver entre sí. Así, cuando se le trata en mecánica (dentro de las oscilaciones forzadas); en electromagnetismo (dentro de los circuitos RLC, de CA); en el efecto MÖSSBAUER y en otras ramas científicas del saber, no se dan conceptos, ni criterios generales del mismo sino estrictamente locales (y aún más, en ocasiones, invirtiendo el orden de lo que puede llamarse su causa y su consecuencia más importante). Este trabajo tiene como objetivos: establecer con claridad un concepto genérico del problema, aplicable luego a las más diversas condiciones locales. También se trata de demostrar y convencer de la validez, y utilidad, de tal planteamiento, con dos ejemplos de los más simples de nuestros cursos, uno en Mecánica y el otro en Electromagnetismo. Así como propiciar la discusión de los docentes al respecto, y el enjuiciamiento crítico, que nos permita acercarnos a un enfoque más adecuado, y unificador, de dicho fenómeno.

The widespread habit, of our courses as well as texts and professors, it is to treat the diverse manifestations of this interesting phenomenon as if they were problems or different situations, without anything or with very little that to see to each other. This way, when it is treated in Mechanics (inside the forced oscillations); in Electromagnetism (inside the circuits RLC, of CA); in the effect MÖSSBAUER and in other scientific branches of the knowledge, concepts, neither general approaches of the same one are not given but strictly local (and even more, in occasions, investing the order of what can be called their cause and their consequence more important). This work has as objectives: to settle down with clarity a generic concept of the problem, applicable then to the most diverse local conditions. It is also to demonstrate and to convince of the validity, and utility, of such a position, with two examples of the simplest of our courses, one in Mechanics and the other one in Electromagnetism. As well as to propitiate the discussion of the educational ones in this respect, and the critical prosecution that allows to come closer to a more appropriate focus, and unifier, of this phenome-non.

Palabras clave: Resonancia, Enseñanza de la Física, Libros de texto.

INTRODUCCIÓN

En nuestros cursos básicos de Física, como Mecánica y Electromagnetismo, se suele discutir la resonancia, pero de un modo que si bien resuelve las necesidades inmediatas (en términos de contenidos de la asignatura y resolución de problemas), no favorece en lo absoluto la generalización del fenómeno.

Así, cada vez que el alumno se enfrenta al estudio y discusión de este importante fenómeno, no es capaz de asociarlo con lo que ya alguna vez estudió, discutió y aprendió, sino que lo interpreta como algo totalmente nuevo, desconocido y tal vez lo peor- aplicable sólo al estrecho y reducido marco de un contenido muy específico dentro de un tema de la asignatura, o capítulo del texto correspondiente.

¿Cómo estamos enseñando entonces esa idea cardinal, en el desarrollo de la Ciencia, que presupone un mínimo de leyes para abarcar un máximo de situaciones y condiciones?

Indudablemente, por esta vez al menos, seamos autocríticos, los docentes y los autores de los textos, liberando completa-

mente al estudiantado de culpa alguna, ya que es nuestra y no de ellos.

¿Cómo vamos a pedir lo que no hemos sido capaces de dar antes?

Para saldar esa deuda, es que este trabajo viene a presentar una alternativa con una suerte de “visión de conjunto” al proponer un enfoque abarcador válido en todo contexto.

DESARROLLO

Lo que planteamos, en esencia, no es un método de trabajo nuevo sino uno que resulta bien conocido por físicos y matemáticos. Piense, por un momento, en la forma con que se trabaja en Física con las llamadas “leyes de Conservación” (como la energía mecánica, el momento lineal y el momento angular) y en Matemática con los llamados “Valores Relativos Extremos (máximos y mínimos, relativos)”.

Así, vamos a desglosar el problema, en el planteamiento de tres criterios básicos. Estos son:

- a) La condición necesaria.
- b) La condición de ocurrencia.
- c) El concepto de resonancia.

a) La condición necesaria

Una forma genérica de abordar el problema, es plantearlo en término de “sistemas físicos.” Entonces, esta primera condición equivale al planteamiento de: ¿en qué sistemas puede darse dicho fenómeno?

Para que pueda ocurrir la resonancia, siempre deben estar presentes dos sistemas físicos; el primero, uno capaz de oscilar y el segundo, otro capaz de entregar la energía necesaria (al primero) para mantener dichas oscilaciones.

En un caso general, cada uno de estos sistemas, vistos como entidades separadas, tiene al menos una frecuencia propia, también llamada a veces como natural.

Debe quedar claro que, en principio, tanto la fuente de energía externa, como el sistema oscilante, pueden tener las más diversas naturalezas intrínsecas. De este modo, su carácter puede ser mecánico, electromagnético o cualquier otro, sin limitación alguna.

b) La condición de ocurrencia

Esta equivale a la pregunta de: ¿cuándo decimos que está presente la resonancia?

Esta condición, como sabemos, consiste en la igualdad numérica de las frecuencias (o de los períodos) en ambos sistemas. Típicamente, la resonancia tiene lugar cuando la frecuencia con que la fuente externa entrega su energía, coincide con una frecuencia propia, o natural, del primer sistema oscilante.

c) La condición de resonancia

Esta resulta la más interesante por cuanto es la que usualmente está ausente y, a su vez, es la que permite establecer un criterio unificador, con una total independencia de muchos factores como la propia naturaleza concreta de los sistemas involucrados.

La enunciamos así:

Bajo la condición anterior (de la igualdad de las frecuencias) tiene lugar una situación muy peculiar: entonces, y sólo entonces, el intercambio de energía, entre los sistemas, se optimiza. Es decir, sólo bajo la condición de la igualdad de las frecuencias, sucede que la energía entregada por el primer sistema (por la fuente externa), es absorbida o asimilada al máximo por el segundo (el sistema oscilante).

Podía añadirse una cuarta condición, tal vez la más conocida y peor interpretada del fenómeno y es que la observación experimental concluye que: es en resonancia que los sistemas (oscilantes) alcanzan los valores máximos en las amplitudes de sus oscilaciones. Por supuesto que esto ocurre, pero no es más que un resultado del concepto anterior, la optimización del intercambio energético.

Así, es fácil ver que lo que a veces presentamos como “la esencia del fenómeno” no es tal sino una consecuencia de aquella.

De los planteamientos anteriores se deducen dos consecuencias importantes:

La primera es el carácter completamente general del concepto, por cuanto no compromete para nada la naturaleza particular de los sistemas físicos donde ocurre.

La segunda es la posibilidad de comprobar su validez de un modo muy directo, inmediato, al menos para el caso de algunos sistemas simples como mecánico y electromagnético. Tal vez sea una buena propuesta que otros autores lo verifiquen en sistemas diferentes.

2.1 La resonancia en un sistema mecánico

Consideremos un sistema mecánico tan simple como un niño balanceándose en su columpio o silla voladora. La fuente externa de energía la constituirá el adulto que suele acompañarlo e impulsarlo a intervalos regulares.

Simplifiquemos el sistema considerando al columpio como una partícula a la que puede aplicarse el conocido teorema del trabajo de la fuerza resultante y la variación de la energía cinética.

$$W_{RES} = \Delta K = K_f - K_i \tag{1}$$

Obviamente la variación de la energía cinética se refiere al columpio y el trabajo de la fuerza resultante (que actúa sobre el anterior) al del adulto que provee la energía.

Aceptemos que, con bastante buena aproximación, el adulto puede controlar sus acciones repetidamente; esto es mantener una frecuencia (o período) estable así como el trabajo o la cantidad de energía que emplea en “cada impulso”.

Analicemos las dos posibilidades siguientes, en cada interacción: $K_i = 0$ o $K_i \neq 0$. Por supuesto, $K_f \neq 0$. Cuando $K_i \neq 0$, resulta que $K_f < \Delta K = W_{RES}$, luego es obvio que el aprovechamiento energético no es óptimo, pues una parte de la energía entregada por la fuente no se asimiló por el sistema oscilante. Como consecuencia inmediata, lo que todos sabemos, no se logrará la amplitud máxima posible, en el columpio que oscila.

Cuando $K_i = 0$ resulta que $K_f = \Delta K = W_{RES}$ luego ahora el aprovechamiento sí es óptimo pues toda la energía entregada (por el impulsor, la fuente externa) es asimilada (por el sistema oscilante, el columpio). Claramente, ahora sí se logrará que las oscilaciones alcancen la amplitud máxima posible, dada las condiciones concretas del sistema.

A su vez, es fácil darse cuenta del significado de que $K_i = 0$, en cada interacción. Significa nada menos que el columpio ha llegado a un extremo de las oscilaciones completas, y el tiempo

entre cada interacción es exactamente un período de las oscilaciones.

Así, los períodos o frecuencias de los dos sistemas son idénticos. Entonces estaba en condición de resonancia y se cumple la tercera condición, el concepto “energético” de la resonancia.

2.2 La resonancia en un sistema electromagnético

Consideremos un circuito simple de CA, constituido por una sola malla con una R, una L y una C, en serie. La fuente externa de energía, en este caso, se representa por una fem alterna sinusoidal $\mathcal{E}(t) = V_M \text{sen} \omega t$ (2)

La potencia media disipada en dicho circuito, puede calcularse por $\langle P(t) \rangle = V_M I_M \cos \varphi$ (3), donde se expresan las amplitudes (valores máximos) del potencial y la intensidad de la corriente, así como el ángulo de desfase entre el voltaje aplicado y la intensidad de la corriente que circula. A su vez, puede replantearse como:

$$\langle P(t) \rangle = \frac{I}{2} \frac{V_M^2 R}{[R^2 + (X_L - X_C)^2]} \quad (4)$$

A partir de la expresión (4), puede hallarse fácilmente su valor máximo tanto por los recursos del cálculo como por simple inspección. Tal condición de potencia máxima disipada, se alcanza cuando $X_L = X_C$. A su vez, es conocido que este resultado conlleva a que:

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

El mismo resultado puede obtenerse a partir de (3), para cuando $\varphi = 0$, aunque es un poco más indirecto.

A $\varphi \neq 0$ $\langle P(t) \rangle < \langle P_M(t) \rangle$ donde no hay aprovechamiento máximo, fuera de la resonancia. En cambio, si

$\varphi = 0$ $\langle P(t) \rangle = \langle P_M(t) \rangle$ donde el aprovechamiento es máximo y está presente la condición de resonancia.

Los dos resultados indican la misma condición física, la igual-

dad de las dos frecuencias o períodos (de la fuente de fem y del circuito RLC) y ésta es la condición de resonancia.

Queda igualmente claro, que es en esta condición, y sólo en ella, que el circuito aprovecha al máximo la energía que en cada ciclo le proporciona la fuente.

Entonces nuevamente se está en resonancia y se cumple la tercera condición, el concepto “energético” de la resonancia.

Parece suficiente lo discutido, para alcanzar el primer objetivo propuesto.

CONCLUSIONES

Se ha establecido claramente un concepto genérico del fenómeno de la resonancia, con independencia total de las condiciones particulares del sistema físico.

Se ha aplicado este concepto, satisfactoriamente, a dos situaciones convencionalmente bien distantes (mecánica y electromagnetismo) demostrándose la validez los argumentos iniciales.

Queda pendiente la posible discusión enriquecedora, de los colegas, y el paso del tiempo como juez definitivo, en este intento de una aproximación más genérica y unificadora del fenómeno.

[1] Física. D. Halliday; R. Resnick y K. S. Krane. 4ta ed. Editorial Félix Varela, La Habana 2004.

[2] Physics. Principles with applications; D. Giancoli. 6ta ed. Pearson Pentice Hall.

[3] Mecánica. S. Strelkóv. Editorial Mir Moscú