

## 10. El principio de superposición

Friedrich Herrmann. Universidad de Karlsruhe, Alemania  
Georg Job. Universidad de Hamburgo, Alemania  
Nelson Arias Ávila. Universidad Distrital, Bogotá, Colombia

*Tema:*

El principio de superposición o de independencia de movimientos.

*Defectos:*

1. Al parecer diversos autores tienen distintas ideas sobre lo que es el principio de superposición. Según algunos textos, el principio establece la adición o suma vectorial de la fuerza y del momento (1, 2), en otros es interpretado como un teorema sobre la adición de las magnitudes cinemáticas velocidad, posición y aceleración (3, 4), y otras veces se lo presenta como una formulación del principio de relatividad (5).

2. Si el principio se limita a la afirmación de que cierta magnitud vectorial es aditiva, no se está diciendo algo muy significativo, en todo caso se debería explicitar las circunstancias en las cuales es permitido sumar los valores de dicha magnitud. Se pueden sumar los valores de cualquier magnitud –sea escalar, vectorial o tensorial– y en cada caso esta adición representa algo razonable en el mundo real. ¿Qué sentido tiene la afirmación de que la velocidad es aditiva? La suma de las velocidades de dos coches que viajan uno cerca al otro tiene interés si se quiere calcular su valor promedio; las velocidades también se suman al hacer un cambio del sistema de referencia. ¿También es aditiva la presión? En algunos casos sí, las presiones parciales de los componentes de un gas se suman para obtener la presión total. Se adicionan fuerzas que actúan sobre un mismo cuerpo. Los valores del momento, como los de todas las demás magnitudes extensivas, se suman cuando se forma un nuevo sistema a partir de dos o más sistemas parciales. ¿Es aditiva la temperatura? Si se calcula la suma de las temperaturas de un cuerpo en diez momentos equidistantes y se divide por 10, se obtiene el valor promedio temporal de dicha magnitud. Si se conectan dos bombas de calor en serie, la diferencia total de temperatura que resulta es la suma de las diferencias que se obtienen en cada una de las bombas.

3. Si el principio de superposición no es otra cosa que la afirmación de que la velocidad o la fuerza es aditiva en ciertas circunstancias, entonces no merece el calificativo de “principio” y no vale la pena insistir, como se hace en ciertos textos, en que está basado en la experiencia. En (1) y (2) se lo eleva al rango de *Lex Quarta*, es decir, la cuarta ley de Newton; como ya se ha visto se puede formular un principio similar para cualquier otra magnitud. La regla de adición vectorial de la fuerza o de la velocidad es una de las herramientas básicas de la física, no olvidemos que para Newton la regla no era una ley.

4. En algunos textos escolares se deduce la validez del principio de superposición de un experimento con proyectiles o experimento de tiro oblicuo (o parabólico), en el cual dos cuerpos caen simultáneamente de la misma altura. Se deja caer simplemente el primero, mientras el segundo se lanza en sentido horizontal; se observa que las componentes verticales de la velocidad son iguales en cada instante, es decir, ambos cuerpos caen la misma distancia vertical en el mismo tiempo. Pero para observar este resultado deben cumplirse varias leyes y reglas, de modo que no es de extrañar que puedan obtenerse diversas conclusiones. Es fácil elegir las condiciones para que el resultado no sea el antes mencionado, si los dos cuerpos son grandes y ligeros, de modo que no se pueda despreciar la fricción aerodinámica, entonces los componentes verticales de la velocidad no serán iguales, tampoco lo serán cuando la aceleración de la gravedad dependa de la posición. En (6) se concluye que no existe un principio general de superposición.

5. Se presenta otra dificultad cuando se dice que un cuerpo realiza dos o más movimientos parciales independientes (3, 4, 5).

¿Cómo reconocer que un cuerpo realiza varios movimientos simultáneos?:  
¿Definiendo los campos de fuerza y los momentos iniciales para los movimientos parciales? Entonces, un cuerpo que se mueve en línea recta a través de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí debería realizar simultáneamente un movimiento circular y uno parabólico, lo cual, como sabemos, no ocurre.

¿O los movimientos parciales se obtienen descomponiendo la velocidad real según las reglas del cálculo vectorial? En este caso es trivial que recomponiéndolos se obtenga el movimiento original, para esto no se necesita de un nuevo principio.

#### *Origen:*

Surge del primer corolario de los tres axiomas o leyes del movimiento publicado en los *Principios matemáticos de la filosofía natural*, de Isaac Newton (7). Al parecer poco después se modificó el texto por otros autores, lo que originó el siguiente comentario de Ernst Mach: “Esta concepción [de Newton] es completamente natural y señala claramente el punto esencial. No tiene nada de lo artificial y afectado que más tarde se ha introducido en la teoría de la composición de las fuerzas” (8).

#### *Eliminación:*

Es suficiente introducir la fuerza y el momento como vectores de la manera común y tradicional, lógicamente discutiendo y analizando bajo que circunstancias se pueden adicionar vectorialmente dichas magnitudes, con lo cual el experimento del tiro parabólico se puede tratar de manera exhaustiva.

## Referencias:

- (1) Sommerfeld, A. *Vorlesungen über Theoretische Physik, Mechanik*. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1944. p.6: "Consideramos como *Lex Quarta* la regla del paralelogramo de las fuerzas, que en la obra de Newton aparece solamente como suplemento. Nos dice que la resultante de dos fuerzas, que actúan sobre el mismo punto de masa, es la diagonal del paralelogramo formado por dichas fuerzas. Las fuerzas se adicionan como vectores".
- (2) *Lexikon Technik und exakte Naturwissenschaften*. Band 10. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag, 1972. p. 2978: "El principio de independencia (principio de superposición), que se obtiene de la experiencia, fue formulado por Newton como *Lex Quarta*; los efectos de varias fuerzas que actúan sobre un cuerpo se superponen sin perturbación mutua".
- (3) Grehn, J. (Red.) *Metzler Physik*. Stuttgart: J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, 1991. p. 21: "Principio de la superposición no perturbada de movimientos: si un cuerpo realiza dos o más movimientos, estos se superponen al movimiento total. Desplazamientos, velocidades y aceleraciones se suman vectorialmente".
- (4) Grimsehl, E. *Lehrbuch der Physik*. Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1957. p. 29: "Ley o principio de independencia de los movimientos: si un cuerpo realiza dos (o más) movimientos, entonces la posición final del cuerpo es independiente de que los movimientos se realicen simultánea o sucesivamente en cualquier orden. Por consiguiente, el desarrollo simultáneo de los movimientos parciales no influye en estos".
- (5) Kuhn, W. *Physik*. Band II, 1. Teil, Klasse 11. Braunschweig: Westermann Verlag, 1989. p. 16-17: "Ambos movimientos parciales son completamente independientes. El movimiento real se compone de dos movimientos parciales independientes (principio de independencia). La misma afirmación resulta de la aplicación del principio de la relatividad. [...]. Al no ser válido el principio de independencia [...], las leyes de la caída libre serían distintas en un tren en movimiento y en uno en reposo, con un experimento de caída libre, podría averiguarse si el tren se mueve de manera uniforme. Según nuestra experiencia esto es imposible, ya que violaría el principio de relatividad. Los principios de relatividad y de independencia están estrechamente vinculados".
- (6) Dorn, F. und Bader, F. *Physik*. Oberstufe Band MS, Lehrerband. Hannover: Schroedel Schulbuchverlag GMBH, 1985. p. 20.
- (7) Newton, I. *Principios matemáticos de la filosofía natural*. En: *A hombros de gigantes* (Edición comentada de Stephen Hawking). Barcelona: Crítica, 2003. p. 660: "Un cuerpo recorre la diagonal de un paralelogramo bajo dos fuerzas conjuntas en el mismo tiempo en que los dos lados bajo las dos acciones por separado".
- (8) Mach, E. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Leipzig: F. A. Brockhaus, 1987. p.20.