

AC 14 35

Introducción a las ciencias físico-naturales La causalidad dinámica de Newton Guión número 8

La causalidad dinámica, Newton La cinética consiste en la descripción del movimiento de los cuerpos mediante las magnitudes vector de posición r , vector velocidad v y vector aceleración a . Cuando se conocen estas tres magnitudes para un móvil en un instante dado, se puede calcular su valor en un instante posterior, sea cual fuere el tipo de movimiento, rectilíneo uniforme o acelerado, circular o, en general, curvilíneo. Se puede decir que, mediante la cinética, se sigue la evolución temporal de un móvil. ¿Pero cuáles son las causas que originan que una partícula adquiera uno u otro tipo de movimiento? Por ejemplo, ¿por qué los cuerpos abandonados libremente sobre la superficie de la Tierra caen sobre ella? ¿O por qué un automóvil en reposo puede ponerse en movimiento? ¿O por qué la Tierra describe una órbita elíptica alrededor del Sol? ¿Y por qué un muelle estirado comienza a oscilar cuando se suelta? El interés por conocer las causas de estos y otros movimientos radica en que entonces no sólo habremos profundizado un poco más en la comprensión de la naturaleza, sino que, al mismo tiempo, estaremos en condiciones de producir ciertos movimientos de interés práctico con objetos, automóviles, máquinas, aviones... Vamos, pues, a revisar los conceptos fundamentales de la dinámica, ciencia que consiste en el estudio de las causas del movimiento de los cuerpos.

Decimos que existe movimiento de una partícula cuando cambia un vector posición respecto a cierto sistema de referencia, o lo que es lo mismo cuando tiene cierta velocidad. Consideremos una partícula que se encuentra en reposo en cierto instante y moviéndose con velocidad v un instante después. Se ha originado un movimiento.

¿Pero cómo? Debemos concluir que el resto de sistemas físicos que rodea la partícula ha actuado sobre ella, produciendo lo que llamamos una interacción, una fuerza. Tenemos multitud de ejemplos cotidianos. Una bola de billar se pone en movimiento cuando el palo la golpea.

La interacción se produce en el momento de contacto del palo con la bola, o, mejor dicho, cuando los átomos de las superficies de ambos cuerpos se hallan muy próximos. Un objeto abandonado en reposo en la atmósfera cae hacia el suelo con una velocidad creciente. Aquí, la fuerza actúa sin que la Tierra y el objeto, que son los sistemas que interaccionan, se pongan en contacto.

Existen cuatro clases de interacciones fundamentales. Fuerzas gravitatorias, fuerzas electromagnéticas, fuerzas fuertes y fuerzas débiles, que son las responsables de cualquiera de las interacciones que se observan en la naturaleza. En nuestra experiencia, encontramos muchos cuerpos en reposo que continúan en reposo mientras no actúe sobre ellos una fuerza.

Por ejemplo, la bola de billar no se pone en movimiento hasta que no recibe un golpe. Podemos imaginar una partícula aislada de cualquier otro sistema físico y en reposo. Puesto que no actúan fuerzas sobre ella, seguirá en reposo.

Consideremos que la bola de billar se mueve ahora con velocidad v uniforme sobre una trayectoria rectilínea. Mientras no sufra un golpe con el palo de billar, con otra bola o con los bordes de la mesa, su vector velocidad no cambiará. Podemos también idealizar el resultado e imaginar que una partícula se moverá con vector velocidad v uniforme mientras no sufra una interacción.

Además, esta situación engloba a la de la partícula quieta, ya que el reposo es un caso particular de movimiento con velocidad uniforme igual a cero. En la práctica, la bola de billar en movimiento con velocidad inicial v sobre una mesa suficientemente larga disminuye progresivamente su velocidad hasta detenerse, sin necesidad de que el palo, otra bola o el borde de la mesa la golpeen. Precisamente la experiencia diaria de objetos que tarde o temprano llegan a detenerse hizo pensar Aristóteles que el reposo es el estado natural de un cuerpo y la fuerza un elemento necesario para mantenerlo en movimiento.

Pero si tenemos en cuenta que, por ejemplo, la bola de billar se detiene debido a la interacción que se produce en el roce entre las superficies de la bola y el tapete de la mesa, se confirma nuestra hipótesis de que mientras no exista interacción, una partícula se moverá con un vector velocidad constante. Aprovechando las experiencias y razonamientos de Galileo, Newton estableció ese resultado en forma de ley general, su primera ley del movimiento o ley de inercia. Todos los cuerpos continúan en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo mientras no actúan fuerzas que los obliguen a cambiar de estado.

Se denomina ley de la inercia ya que se refiere a la tendencia de un cuerpo a seguir en reposo o a continuar con la velocidad que posee mientras no actúe una fuerza. Cuando se realiza un experimento como el del billar, se obtienen resultados aparentemente en desacuerdo con esa ley ya que las fuerzas de rozamiento detienen la bola. El éxito del planteamiento de Newton frente a Aristóteles radica en considerar la interacción de rozamiento como tal interacción.

Según la ley de la inercia, una partícula libre, es decir, no sometida a interacciones, debe moverse con vector velocidad constante, o sea, sobre una trayectoria rectilínea y aunque varíe el módulo de su velocidad. El sistema de referencia respecto al cual ocurre así se denomina sistema de referencia inercial. No todos los sistemas de referencia son inerciales.

Por ejemplo, consideremos la superficie de la Tierra como sistema inercial y un avión que se mueve con velocidad a 200 m por segundo respecto a un punto de la superficie. Un segundo avión que se mueve en igual sentido que el primero a 300 m por segundo respecto a la Tierra tendrá una velocidad constante de 100 m por segundo respecto al primer avión. En consecuencia, la Tierra y el primer avión se pueden considerar como sistemas inerciales ya que una partícula libre, el segundo avión, se mueve respecto a ellos con velocidad diferente pero constante en cada caso, que es lo esencial.

En cambio, si un sistema tiene una aceleración respecto a otro que se considera inercial una partícula libre que se mueve con velocidad constante en el sistema inercial ya no se moverá con velocidad constante en el sistema acelerado. La Tierra, debido a su rotación alrededor de sí

misma y del Sol no es un sistema inercial aunque a veces se puede considerar como tal siempre que se cumpla la ley de la inercia aproximadamente con el grado de precisión determinado. Otras veces hay que recurrir a las estrellas lejanas que se mueven con aceleración muy pequeña respecto a la Tierra para suponer en ellas el sistema de referencia inercial.

En todo sistema de referencia inercial una partícula libre está en reposo o se mueve con vector velocidad constante y los diferentes sistemas inerciales se mueven unos respecto a otros con velocidad constante o en particular no se mueven. Las experiencias que conducen a la ley de la inercia nos hacen ver que siempre que exista un cambio de velocidad es decir, una aceleración debe existir una fuerza productora de esa aceleración. Además, la fuerza debe tener un carácter vectorial ya que se pueden producir vectores de aceleración diferentes con el mismo tipo de interacción.

Por ejemplo, una bola de billar adquiere aceleración con diferente orientación según cuál sea la dirección en que actúa el palo que la golpea es decir, según cuál sea la dirección de la fuerza. Precisamente Newton encontró que una relación muy simple de proporcionalidad entre ambas magnitudes permitía englobar también la ley de la inercia. En efecto, si el vector fuerza es proporcional al vector aceleración cuando no actúa ninguna fuerza esto es, en una partícula libre la aceleración es también cero.

La constante de proporcionalidad entre fuerza y aceleración se denomina masa inercial del objeto en cuestión y nos mide su inercia al movimiento ya que cuanto mayor sea su valor menor aceleración adquiere pues se cumple la relación de proporcionalidad. Fuerza es igual a masa multiplicado por aceleración que es lo que se denomina segunda ley de Newton y expresa el carácter vectorial de la fuerza que tiene el mismo sentido que la aceleración que produce. Aún podemos investigar algo más algo más referente al sistema que proporciona la fuerza para que actúe sobre el cuerpo o partícula en cuestión.

Consideremos dos partículas aisladas del resto del universo que solo ejercen fuerzas entre sí. Podemos pensar que las fuerzas que actúan sobre una y otra son muy diferentes. Veamos como no es así sino que son muy semejantes.

Si observamos a nuestra pareja de partículas desde distancia suficientemente lejana se nos presenta como una partícula de estructura compleja aislada del universo por lo tanto no sometida a fuerzas y moviéndose como un todo libremente con velocidad constante. Si las fuerzas que se ejercen entre sí las partículas no fuesen iguales y opuestas la fuerza total resultante sobre la partícula compleja como resultado de la interacción entre sus constituyentes se obtendría sumando las dos fuerzas vectorialmente lo que daría una fuerza no nula. En este supuesto la partícula compleja considerada como un todo se vería sometida a una fuerza resultante a pesar de que la suponíamos libre moviéndose con velocidad constante.

Parece lógico que concluyamos para deshacer esta contradicción que entre cada dos partículas que interaccionan las fuerzas sobre una y otra son iguales en módulo pero en sentido contrario. De esta manera la fuerza resultante es cero lo que está de acuerdo con nuestra

hipótesis de que considerada como un todo era una partícula libre. De nuevo corresponde a Newton el honor de haber establecido este resultado en su tercera ley del movimiento que se conoce como ley de acción y reacción que se expresa en la forma.

En cualquier interacción entre dos cuerpos si la fuerza que ejerce el primero sobre el segundo o acción se representa por el vector $\mathbf{f}$ la fuerza que el segundo ejerce sobre el primero o reacción es la representada por el vector $-\mathbf{f}$ o sea, el vector $\mathbf{f}$ con el signo opuesto. Entonces, si la acción y la reacción son opuestas e iguales en módulo ¿por qué cuando empujamos un objeto éste se mueve a pesar de que la resultante de ambas fuerzas es cero? Hay que tener en cuenta que ambas fuerzas acción y reacción actúan sobre cuerpos diferentes. Si actuasen sobre el mismo cuerpo la refuerza resultante sobre éste sería evidentemente cero.

Pero el enunciado de la ley es claro y expresa que la acción y la reacción actúan sobre partículas o cuerpos diferentes. Así, al empujar una puerta ésta recibe la fuerza que le comunica nuestra mano pero nuestra mano a su vez experimenta una fuerza igual y de sentido contrario que deforma nuestra piel y nuestro músculo ligeramente mientras dura la interacción. En conclusión la primera ley de Newton o ley de la inercia describe cualitativamente y la segunda y tercera ley es cuantitativamente las causas del movimiento de los cuerpos o sea, las fuerzas.

Según dichas leyes las fuerzas son de carácter vectorial proporcionales a la aceleración que producen y de igual sentido que ella. Además, cuando dos fuerzas o dos sistemas interaccionan las fuerzas en uno y otro son de igual valor pero de sentidos opuestos.