

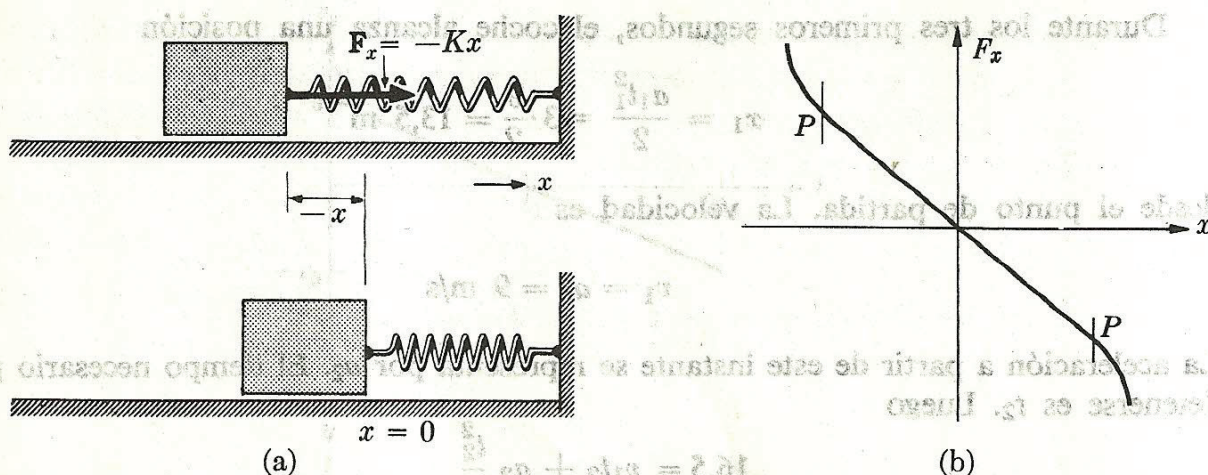


Fig. 3-10. La fuerza que ejerce el resorte sobre un cuerpo puede expresarse en la forma $F_x = -Kx$, donde K es la constante del resorte.

«lineales», según se ilustra en la figura 3-10(b), donde los puntos marcados con P sobre la curva señalan dónde empieza la alinealidad.

Otros experimentos de este tipo indican que la fuerza que se ejerce sobre el cuerpo para una determinada compresión x no depende marcadamente, en general, ni de la celeridad del cuerpo ni del sentido de su movimiento. Además, la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo cualquiera situado en el extremo del resorte es siempre la misma, independientemente de la masa del cuerpo. Así pues, de acuerdo con tales medidas, la fuerza ejercida por el resorte sobre un cuerpo en contacto con él está unívocamente determinada por la compresión o alargamiento x del resorte, medidos a partir de la longitud de equilibrio, según indica la ecuación (3-19).

EJEMPLO. Un resorte que relajado mide una longitud de 50 cm se mantiene fijo por uno de sus extremos. Al otro se aplica una fuerza de 200 N, aumentando la longitud del resorte hasta 75 cm. El aumento de longitud del resorte es, pues, de 25 cm. y la constante del resorte será $K = 200/0,25 = 800 \text{ N/m}$.

3-10 Principio de superposición de las fuerzas. Sólo hemos considerado detalladamente interacciones de dos cuerpos. El cuerpo A interactúa con el cuerpo B , la cantidad de movimiento $p_a + p_b$ permanece constante, y la fuerza que se ejerce sobre el cuerpo A es de igual magnitud, pero opuesta a la que se ejerce sobre B . Esta es la esencia de lo que hemos visto hasta ahora. El verdadero valor del concepto de fuerza se hará bien patente cuando consideremos la interacción de tres o más cuerpos o el movimiento de un cuerpo bajo la influencia de más de una fuerza, ya que resulta que las fuerzas que actúan sobre un cuerpo pueden sumarse para dar una *fuerza resultante* que determina el movimiento del cuerpo. Este es el principio de superposición.

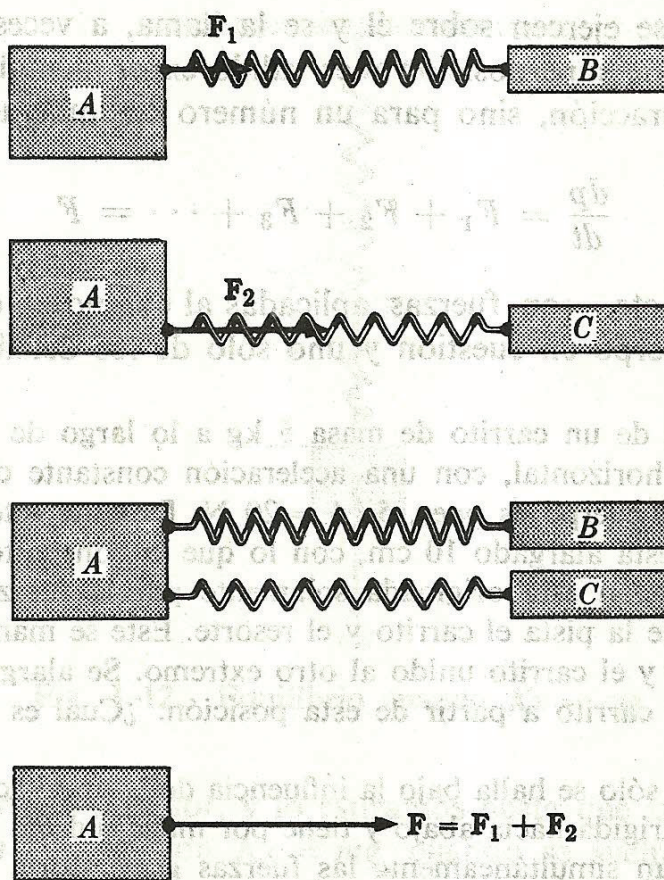


Fig. 3-11. Principio de superposición. Cuando la interacción es sólo entre A y B , sobre A se ejerce una fuerza F_1 . Cuando la interacción es sólo entre A y C , sobre A se ejerce una fuerza F_2 . Cuando con A interactúan B y C , el cuerpo A se mueve bajo la acción de una fuerza única $F = F_1 + F_2$, llamada fuerza resultante.

Imaginemos un cuerpo A que se mueva bajo la acción de otro cuerpo B . Éste puede moverse libremente o estar sujeto rígidamente a la Tierra (fig. 3-11). La fuerza puede deberse o a un resorte que une A con B , o puede ser otro tipo de fuerza, p. e. magnética o gravitatoria. Podemos estudiar esta fuerza y hallar, por ejemplo, cómo depende de la posición, velocidad relativa, etc. Quitemos ahora B e introduzcamos un nuevo cuerpo C con el cual pueda interactuar A . De nuevo podemos estudiar la fuerza y hallar cómo depende de la posición, velocidad relativa, etc. Dejemos, ahora, que interactúen a un mismo tiempo con A los dos cuerpos B y C . ¿Cómo reaccionará A ante esta nueva situación? ¿Cuál será su movimiento?

Estas preguntas sólo pueden contestarse con ayuda de experimentos, y la respuesta experimental es que A reacciona o se mueve como si se hallara sometida a una fuerza única igual a la suma (o superposición) de las dos fuerzas anteriormente estudiadas F_{ab} y F_{ac} en las interacciones con B y con C , respectivamente. La fuerza efectiva que se ejerce sobre un cuerpo es la suma de todas y cada una

de las fuerzas que se ejercen sobre él y se la llama, a veces, fuerza resultante. Este es el principio de superposición y es válido experimentalmente no sólo para tres cuerpos en interacción, sino para un número cualquiera. Es decir, tenemos

$$\frac{dp}{dt} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots = F$$

donde F_1, F_2, F_3 , etc., son fuerzas aplicadas al cuerpo en experimentos en los que interviene el cuerpo en cuestión y uno sólo de los demás. *

EJEMPLO. Se tira de un carrito de masa 5 kg a lo largo de una pista horizontal mediante un resorte horizontal, con una aceleración constante de 4 m/s^2 . La fuerza que se ejerce sobre el cuerpo es pues, $5 \cdot 4 = 20 \text{ N}$. Durante este movimiento se observa que el resorte está alargado 10 cm, con lo que la constante del resorte es $K = 200 \text{ N/m}$. La aceleración está originada solamente por la fuerza del resorte.

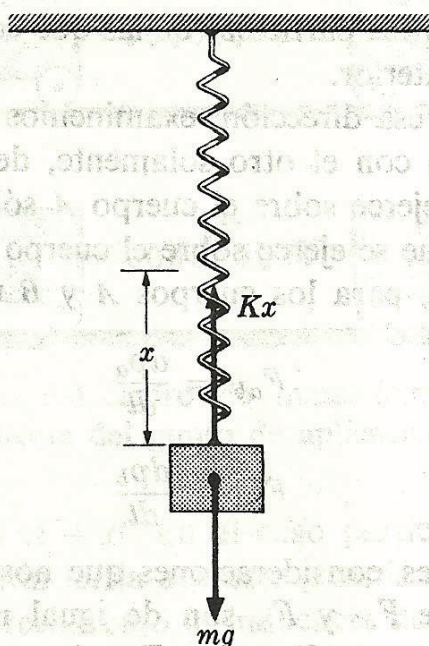
Se quitan ahora de la pista el carrito y el resorte. Éste se mantiene vertical con su extremo superior fijo y el carrito unido al otro extremo. Se alarga de nuevo 10 cm el resorte y se suelta el carrito a partir de esta posición. ¿Cuál es ahora la aceleración inicial del carrito?

Cuando el carrito sólo se halla bajo la influencia de la gravitación, la fuerza que se ejerce sobre él está dirigida hacia abajo y tiene por magnitud $mg = 5 \cdot 9,8 \text{ N}$. Cuando sobre el carrito actúan simultáneamente las fuerzas gravitatoria y del resorte, según el principio de superposición la aceleración del carrito será la debida a la resultante de esas fuerzas. La gravedad proporciona una fuerza hacia abajo de $5 \cdot 9,8 \text{ N}$ y la fuerza del resorte que tira hacia arriba es de 20 N , con lo que la fuerza resultante es $5 \cdot 9,8 - 20 \simeq 29 \text{ N}$ hacia abajo. La aceleración inicial correspondiente es, pues, de $29/5 \simeq 5,8 \text{ m/s}^2$.

Basándonos en el principio de superposición, observamos que una fuerza aplicada a un cuerpo puede contrarrestarse con otra de igual magnitud y dirección, pero sentido opuesto. En otras palabras, si utilizamos un resorte calibrado según fuerzas a partir de experimentos directos de aceleraciones tales como los

* Existen algunas excepciones reales y algunas sólo aparentes del principio de superposición de las fuerzas. Las excepciones reales surgen en relación con las fuerzas atómicas y nucleares, pues se presenta el caso de que la fuerza que se ejercen dos átomos entre sí depende de que haya o no un tercer átomo presente.

Existen varias excepciones aparentes. Por ejemplo, la fuerza electrostática entre dos cuerpos cargados eléctricamente se debe a la existencia de un gran número de partículas (electrones) en los cuerpos. Aun cuando las fuerzas elementales que se ejercen las distintas cargas se superponen, en la forma antes descrita, la fuerza resultante ejercida entre los cuerpos depende de la distribución de cargas en ellos. Esta distribución, y en consecuencia la fuerza que se ejerce entre los cuerpos, suele variar al introducir otros cuerpos cargados. Sin embargo, la perturbación de la fuerza de interacción inicial por un tercer cuerpo constituye una violación sólo aparente del principio de superposición, porque la fuerza entre dos cuerpos no variaría si dispusiéramos algo que mantuviera fija la distribución de cargas.

Fig. 3-12. Equilibrio cuando $Kx = mg$.

descritos en el apartado anterior, y lo estiramos hasta que la fuerza que se ejerza sobre una masa m cumpla con $Kx = mg$, cuando se suelte la masa adquirirá una aceleración g si sobre m no se ejerce ninguna otra fuerza. Sin embargo, cuando el resorte esté vertical y el cuerpo se halle bajo la acción de *las dos* fuerzas: la del resorte que le origina una aceleración g hacia arriba y la fuerza gravitatoria que le origina una aceleración g hacia abajo, el cuerpo se hallará en equilibrio al extremo del resorte cuando éste se halle estirado una longitud $x = mg/K$, según se ilustra en la figura 3-12. Este método de equilibrar dos fuerzas entre sí permite la medida de una fuerza desconocida en función de otra conocida. Por ejemplo, se puede calibrar un dinamómetro en función de la fuerza conocida de la gravedad, midiendo el alargamiento x de equilibrio correspondiente a pesos conocidos. Marcando un cero en la escala de fuerzas para la posición no deformada, marcaríamos en la escala 9,81N cuando del resorte pendiera un cuerpo de masa 1 kg. Si se añade otro cuerpo exactamente igual de masa 1 kg, la escala deberá señalar 19,62N, etc. (Hemos supuesto en este caso que la aceleración de caída libre en el lugar de experimentación es de 9,81 m/s².)

3-11 Movimiento del centro de masa. Aun cuando el movimiento de un sistema aislado de partículas en interacción puede ser muy complicado en sus detalles, el centro de masa del sistema se mueve de manera muy sencilla. De los experimentos de conservación de la cantidad de movimiento y de la definición de centro de masa, hemos deducido que el centro de masa se mueve con velocidad constante. Queremos ahora estudiar el movimiento del centro de masa