

Impulso y Cantidad de Movimiento

Introducción

Cuando dos o mas cuerpos colisionan el análisis de todo lo implicado en la colisión desde el punto de vista físico se realiza mediante el Principio de Conservación de Cantidad de Movimiento. Cantidad de Movimiento es una variable nueva, especialmente aplicable a fenómenos que suceden en tiempos breves. Por ejemplo , si dos esferas de billar colisionan, este suceso es muy breve en tiempo. La figura 2 lo esquematiza:

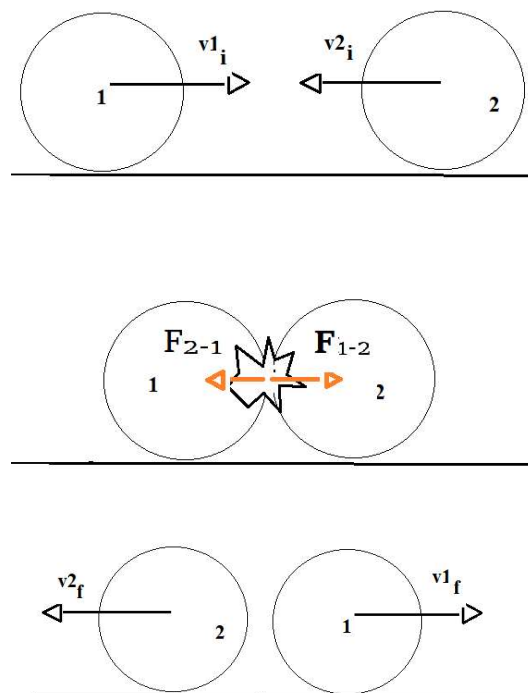


Figura 2: esquema de los momentos anterior, de colisión y posterior.

En el momento del choque aparecen las fuerzas F_{1-2} (fuerza aplicada por la esfera 1 en la 2) y F_{2-1} (Tercera Ley de Newton) . Para analizar esto se aplica una nueva variable denominada Cantidad de Movimiento o Momento lineal (P), magnitud vectorial definida como el producto de la masa de la esfera por su velocidad:

$\vec{P} = m \cdot \vec{v}$	(4)
-----------------------------	-------

La magnitud de esta variable está dada por el producto de las magnitudes masa y velocidad:

$$[\vec{P}] = kg \cdot \frac{m}{s}$$

Considerando las dos esferas de la figura 2 como sistema aislado, las únicas fuerzas son las indicadas en esa figura. Ahora, cada esfera posee una cantidad de movimiento propia antes de la colisión, dada por la expresión (4) (se considera que ambas esferas tienen velocidad constante). Qué sucede durante el choque? En el momento de contacto ambas esferas están sometidas a fuerzas que actúan sobre el sistema: las fuerzas aplicadas a la esfera 1 por acción de la esfera 2 y las aplicadas por la esfera 2 sobre la 1. Estas fuerzas se manifiestan en fracción de segundo, es decir, en el tiempo que dura la colisión, y se observa que posteriormente la velocidad de cada esfera a cambiado en módulo o al menos en dirección o sentido. Entonces, la cantidad de movimiento de ambas esferas es distinta antes y después del choque.

La relación entre esa variación de P y las fuerzas actuantes en la colisión se estudia a continuación: Al ser las fuerzas F_{1-2} y F_{2-1} iguales en módulo (Tercera Ley de Newton), se puede demostrar que la suma de la Cantidad de Movimiento inicial y la suma de la Cantidad de Movimiento final del sistema aislado es constante. Entonces: en un sistema aislado la Cantidad de Movimiento (la suma de P inicial y de P final de ambas esferas) total se conserva:

$$P_{1i} + P_{2i} = P_{1f} + P_{2f}$$

La 2ª Ley de Newton, estudiada en Dinámica, establece que la sumatoria de fuerzas aplicadas sobre un cuerpo material provocan en la masa de ese cuerpo una aceleración:

$\sum F = m \cdot a$	(5)
----------------------	-----

De esta expresión se tiene:

$\sum F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow m \cdot \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$ $\sum F = \frac{(m \cdot v_f - m \cdot v_i)}{\Delta t} \quad \leftarrow \Delta P$	(6)
---	-----

El numerador del 2º término de la ecuación (6) indica variación de Cantidad de Movimiento en el tiempo (se asume que la masa de los elementos que colisionan es constante). Puede interesar saber, por ejemplo, la velocidad de cada esfera posterior al choque sin necesidad de conocer la fuerza que produjo ese cambio.

Entonces, toda fuerza aplicada a una masa genera cambios en su velocidad (como se estudió en Dinámica), se agrega ahora que también deriva en variación de la Cantidad de Movimiento de esa masa.

Regresando nuevamente la figura 2, considerando al sistema formado por las dos esferas como sistema aislado, se observa que durante la colisión se produce

Ahora, la ecuación (6) se puede presentar de esta otra forma:

$\sum F \cdot \Delta t = m \cdot v_f - m \cdot v_i$	(7)
---	-----

Se define el 1º término de la expresión (7) como *Impulso (I)*: el producto entre la fuerza neta aplicada a una masa y el tiempo de aplicación. Y la (7) muestra que el Impulso de la fuerza aplicada genera una variación de la cantidad de movimiento de la masa, es decir, hay una relación entre ambos conceptos.

Por una parte, la fuerza que acciona, por ejemplo, sobre la esfera 1 de la figura 2 (durante el choque) no es constante. Si bien dura una fracción de segundo, en un choque hay un aumento de esa fuerza (de su magnitud) que comienza desde que se produce el contacto hasta llegar a un pico y luego un decrecimiento hasta el momento que las esferas dejan de contactarse. La fuerza neta recibida por la esfera 1 se puede graficar aproximadamente así:

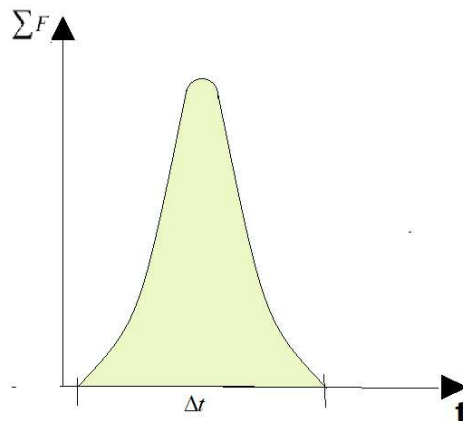


Figura 3: variación de la fuerza en el intervalo de tiempo (Δt) que se produce la colisión.

Siendo el Impulso el producto entre la fuerza neta aplicada y el tiempo de aplicación, su cálculo responde a la integral:

$$I(t) = \int_{t_i}^{t_f} F(t) dt \quad (8)$$

La integración del Impulso tiene el valor del área por debajo de la curva (de la campana). Además, es una variable vectorial cuya dirección y sentido coincide con la propia de la fuerza neta.

Entonces, el Impulso transferido desde la esfera 2, que al chocar contra la esfera 1 aplica una fuerza a esa esfera por ley de Acción y Reacción (la esfera 2 también se ve afectada por una fuerza desde la esfera 1), provoca en la esfera 1 una variación de su cantidad de movimiento, y viceversa.

Teorema del Impulso y la Cantidad de Movimiento

La expresión (7) define la relación entre el Impulso de la fuerza aplicada en un intervalo de tiempo y la variación de la Cantidad de Movimiento lineal: *'El cambio de la Cantidad de Movimiento lineal durante un intervalo de tiempo es igual al Impulso de la fuerza neta que actúa sobre ese punto material'*

$$\sum \vec{F} \cdot \Delta t = \vec{P}_f - \vec{P}_i$$

Colisiones en una dimensión: clases

Las colisiones se clasifican en elásticas e inelásticas :

Colisiones elásticas: no se produce deformación de los cuerpos que chocan.

Colisiones inelásticas: se produce deformación de los cuerpos que chocan. Hay dos clases:

Inelásticas: se produce deformación temporal del o de los objetos que colisionan

Perfectamente inelásticas: la deformación durante el choque es de carácter permanente.

Este último caso es muy común mientras que el primero es un caso ideal en el mundo macro.

En las tres formas de colisión citadas, la Cantidad de Movimiento inmediatamente inicial y final se conservan, como también se conserva la energía cinética de los objetos materiales que colisionan, en tanto que en los choques de tipo inelástico la energía cinética antes y después del choque no se conservan porque parte de esa energía inicial se invierte en procesos de deformación de los objetos que colisionan.

Se analizará el caso de choque perfectamente inelástico:

Una bola de plastilina de 200 gr es arrojada contra el tronco de un gran árbol a una velocidad de 10 m/s. Choca contra el tronco y rebota a velocidad de 2 m/s. El impacto del choque dura 0,20 segundos.

Calcular:

a) Impulso.

b) Fuerza promedio sobre la bola en el momento del choque.

a)

$$P_i = 0,2\text{kg} \left(-10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = -2\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$P_f = 0,2\text{kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,4\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Siendo: $\bar{I} = \Delta \bar{P}$

Luego:

$$I = 0,4\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} - \left(-2,0\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 2,4 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Fuerza promedio:

$$\bar{I} = \sum \bar{F} \cdot \Delta t \Rightarrow \frac{\bar{I}}{\Delta t} = \sum \bar{F} = \bar{F}_{\text{prom}}$$

$$F_{\text{prom}} = \frac{2,4\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,2\text{s}} = 12,0\text{N}$$

Referencias:

Serway, R.; Jewett, J. - 'Física para Ciencias e Ingeniería' Cap. 9. Vol. 1 – 7ª edición- Cengage Learning (2008).

Sears, F., Semansky, M. Young, H.; Freedman, R. 'Física Universitaria' Cap.8- Vol 1- 12ª Edición- México- Pearson (2009)

