

# Cantidad de movimiento lineal y colisiones

M.Sc. Óscar Andrés Arroyo Chavarría

# Cantidad de movimiento lineal

- La **cantidad de movimiento lineal** de una partícula o un objeto que se modela como una partícula de masa  $m$  que se mueve con una velocidad  $\vec{v}$  se define como el producto de la masa y la velocidad de la partícula:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- La cantidad de movimiento lineal es una cantidad vectorial porque es igual al producto de una cantidad escalar  $m$  y una cantidad vectorial  $\vec{v}$ . Su dirección está a lo largo de  $\vec{v}$ , su unidad del SI es  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ .

# Cantidad de movimiento lineal

- Si una partícula se está moviendo en una dirección arbitraria,  $\vec{p}$  tiene tres componentes y su ecuación es equivalente a las ecuaciones por componentes

$$p_x = mv_x \quad p_y = mv_y \quad p_z = mv_z$$

- Como se observa a partir de su definición, el concepto de cantidad de movimiento proporciona una distinción cuantitativa entre partículas pesadas y ligeras que se mueven con la misma velocidad.
- Newton llamo al producto  $m\vec{v}$  *cantidad de movimiento*; tal vez hoy en día este término es una descripción más gráfica que la palabra *momentum*, que viene del latín y significa movimiento.

# Cantidad de movimiento lineal

- Al usar la segunda ley de movimiento de Newton, se puede relacionar la cantidad de movimiento lineal de una partícula con la fuerza resultante que actúa sobre ella. Se inicia con la segunda ley de Newton y se sustituye la definición de aceleración:

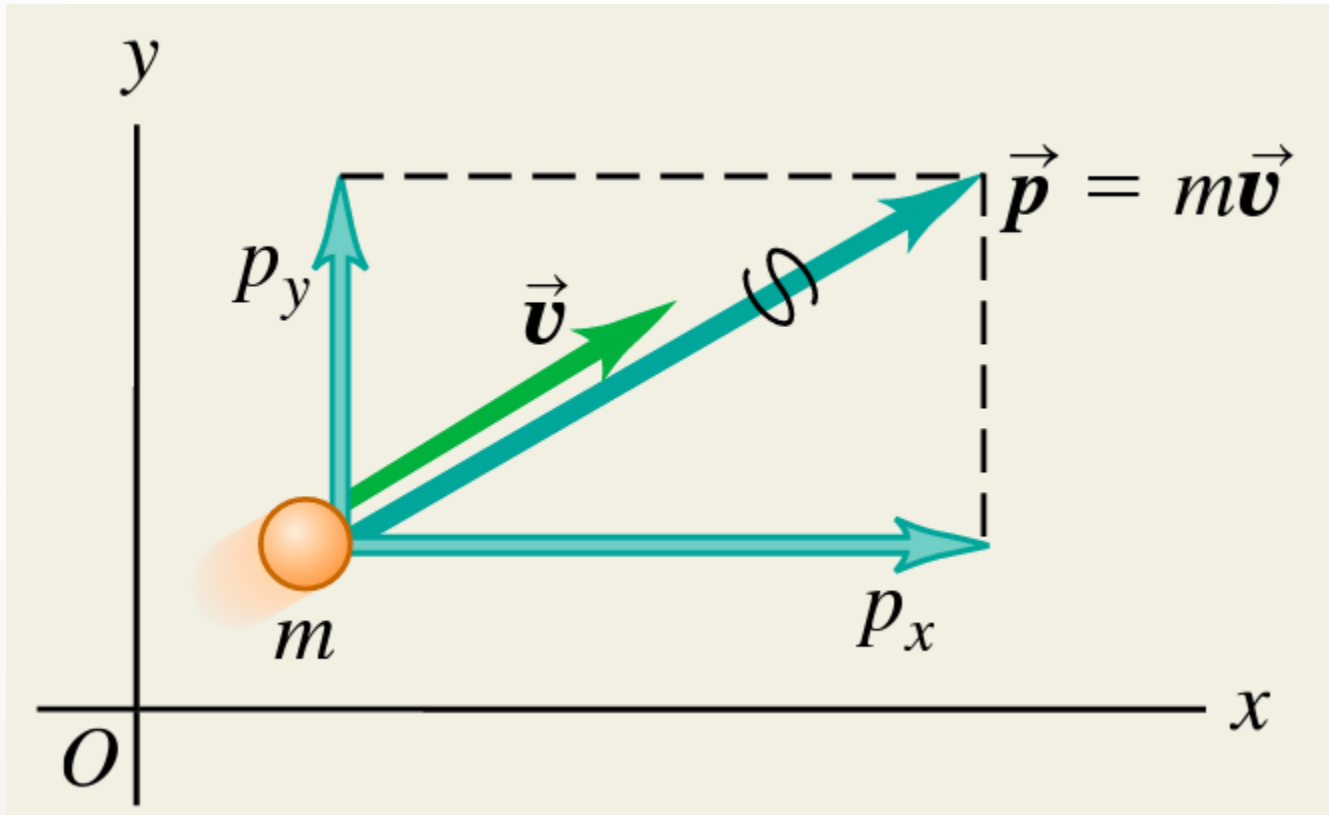
$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

- En la segunda ley de Newton la masa  $m$  se supone constante. Por lo tanto, se puede llevar  $m$  dentro de la operación derivada para dar

$$\sum \vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

- Esta ecuación muestra que **la razón de cambio con el tiempo de la cantidad de movimiento lineal de una partícula es igual a la fuerza neta que actúa sobre la partícula.**

# Cantidad de movimiento lineal



Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 263

**8.2** • En una competencia de pista y campo, la bala tiene una masa de 7.30 kg y se lanza con una rapidez de 15.0 m/s a 40.0° por encima de la horizontal ubicada sobre la pierna izquierda extendida de un atleta. ¿Cuáles son las componentes iniciales horizontal y vertical de la cantidad de movimiento de esa bala?

Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 263

**8.5 •** Un liniero de fútbol americano de 110 kg corre hacia la derecha a 2.75 m/s, mientras otro liniero de 125 kg corre directamente hacia el primero a 2.60 m/s. ¿Cuáles son *a)* la magnitud y dirección de la cantidad de movimiento neta de estos dos atletas, y *b)* su energía cinética total?

# Análisis de modelo: sistema aislado (cantidad de movimiento)

- Siempre que interactúan dos o más partículas en un sistema aislado, la cantidad de movimiento total del sistema permanece constante.

$$\vec{p}_{total} = 0$$

- Para un intervalo:

$$\Delta \vec{p}_{total} = 0$$

$$\vec{p}_{final} - \vec{p}_{inicial} = 0$$

$$\vec{p}_{final} = \vec{p}_{inicial}$$

- Esta última ecuación es aplicable a las tres dimensiones x, y, z.



# Análisis de modelo: sistema no aislado

## (cantidad de movimiento)

- El cambio en la cantidad de movimiento de una partícula es igual al impulso de la fuerza neta que actúa sobre la partícula:

$$\Delta \vec{p} = \vec{I}$$

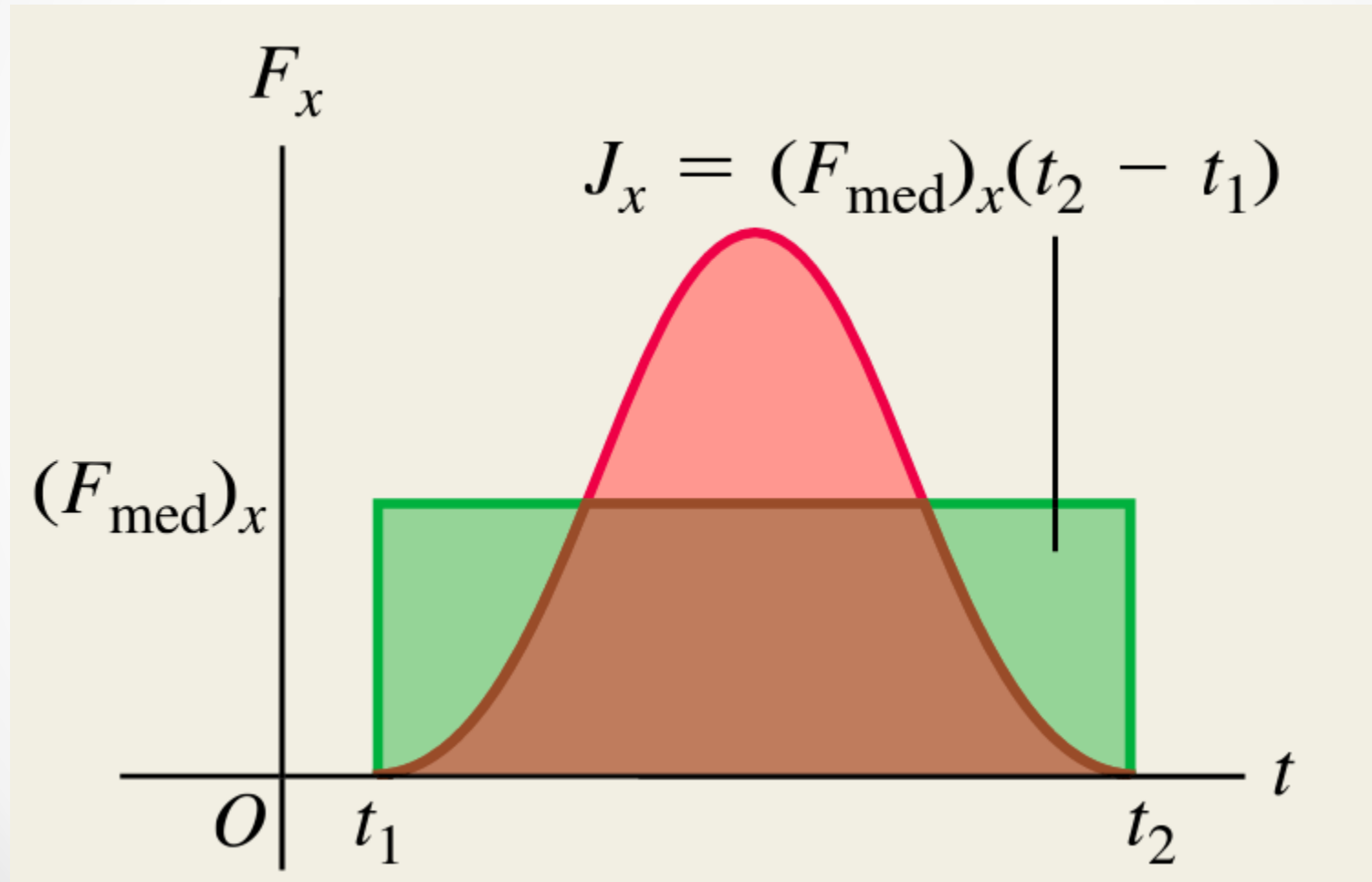
- En términos de la fuerza neta:

$$\vec{I} = \int_{t_i}^{t_f} \sum \vec{F} \, dt$$

- Resolviendo la integral para una fuerza constante:

$$\vec{I} = \sum \vec{F} \, \Delta t$$

# Análisis de modelo: sistema no aislado (cantidad de movimiento)



Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 264

**8.10 ••** Un bate golpea una pelota béisbol de 0.145 kg. Justo antes del impacto, la pelota viaja horizontalmente a la derecha a 40.0 m/s; cuando deja el bate, la pelota viaja a la izquierda en un ángulo de 30° arriba de la horizontal con una velocidad de 52.0 m/s. Si la pelota y el bate están en contacto durante 1.75 ms, determine las componentes horizontales y verticales de la fuerza media sobre la pelota.

Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 264

**8.11 • CALC** En el instante  $t = 0$ , un cohete de 2150 kg en el espacio exterior enciende un motor que ejerce una fuerza creciente sobre él en la dirección  $+x$ . Esta fuerza obedece la ecuación  $F_x = At^2$ , donde  $t$  es el tiempo, y tiene una magnitud de 781.25 N cuando  $t = 1.25$  s.

a) Calcule el valor en el SI de la constante  $A$ , incluyendo sus unidades. b) ¿Qué impulso ejerce el motor sobre el cohete durante el intervalo de 1.50 s que comienza 2.00 s después de encender el motor? c) ¿Cuánto cambia la velocidad del cohete durante este intervalo? Suponga la masa constante.

Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 267

**8.64** •• Una esfera de acero con masa de 40.0 g se deja caer desde una altura de 2.00 m sobre una plancha de acero horizontal, rebotando a una altura de 1.60 m. *a)* Calcule el impulso que se da a la esfera en el impacto. *b)* Si el contacto dura 2.00 ms, calcule la fuerza media que actúa sobre la esfera durante el impacto.

# Conservación de la cantidad de movimiento lineal

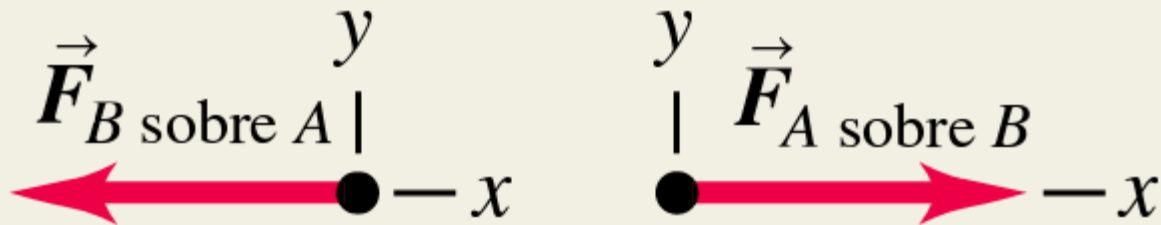
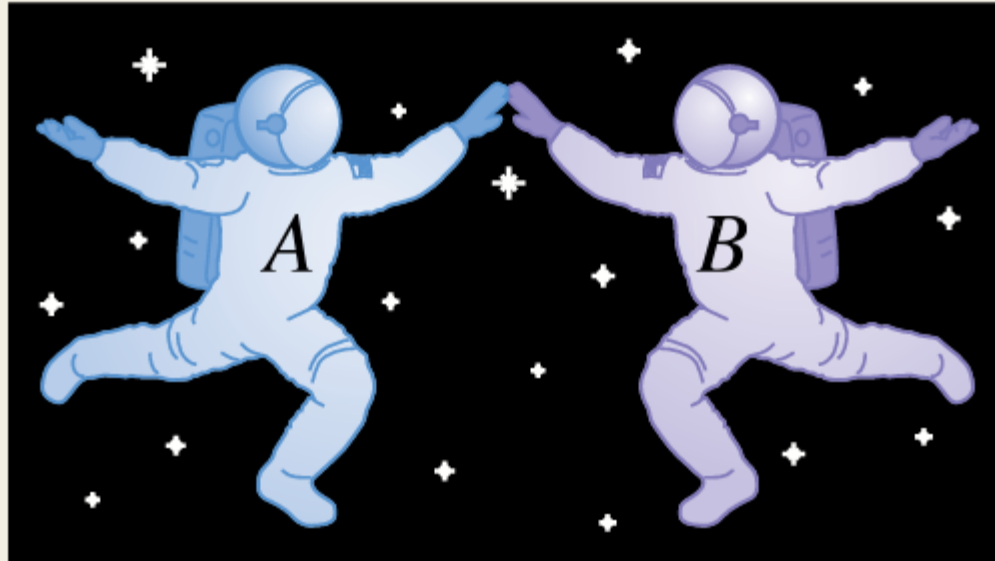
**Conservación de la cantidad de movimiento:** Una fuerza interna es una fuerza ejercida por una parte de un sistema sobre otra. Una fuerza externa es una fuerza ejercida sobre cualquier parte del sistema por algún elemento externo al sistema. Si la fuerza externa neta que actúa sobre un sistema es cero, es constante la cantidad de movimiento total  $\vec{P}$  del sistema (la suma vectorial de las cantidades de movimiento de las partículas individuales que constituyen el sistema), es decir, se conserva. Cada componente de la cantidad de movimiento total se conserva individualmente

# Conservación de la cantidad de movimiento lineal

$$\begin{aligned}\vec{P} &= \vec{p}_A + \vec{p}_B + \dots \\ &= m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B + \dots\end{aligned}$$

Si  $\sum \vec{F} = \mathbf{0}$ , entonces  $\vec{P} = \text{constante}$ .

# Conservación de la cantidad de movimiento lineal



$$\vec{P} = \vec{p}_A + \vec{p}_B = \text{constante}$$



Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 264

**8.17 ••** Los gases en expansión que salen por el cañón de un rifle también contribuyen al retroceso. Cuando se dispara una bala de calibre 0.30 tiene una masa de 0.00720 kg y una rapidez de 601 m/s relativa al cañón del rifle, cuya masa es de 2.80 kg. El rifle, sostenido sin firmeza, retrocede a 1.85 m/s en relación con el suelo. Calcule la cantidad de movimiento de los gases al salir del cañón, en un sistema de coordenadas fijo al suelo.

Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

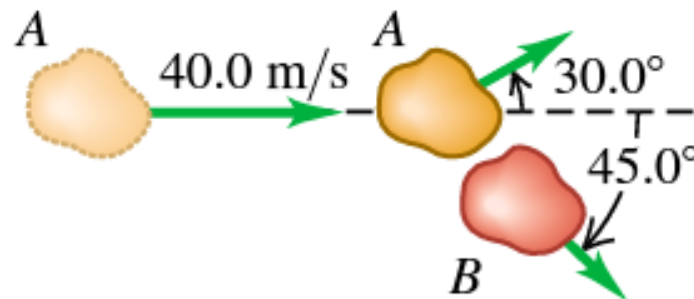
Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 264

**8.22 ••** Cuando los automóviles están equipados con parachoques (defensas) flexibles, rebotan durante choques a baja rapidez, provocando daños menores. En un accidente de este tipo, un auto de 1750 kg viaja hacia la derecha a 1.50 m/s y choca contra un auto de 1450 kg que va hacia la izquierda a 1.10 m/s. Las mediciones indican que la rapidez del auto más pesado inmediatamente después del choque era de 0.250 m/s en su dirección original. Podemos ignorar la fricción de la carretera durante el choque. *a)* ¿Cuál era la rapidez del auto más ligero inmediatamente después del choque? *b)* Calcule el cambio en la energía cinética combinada del sistema de los dos vehículos durante este choque.

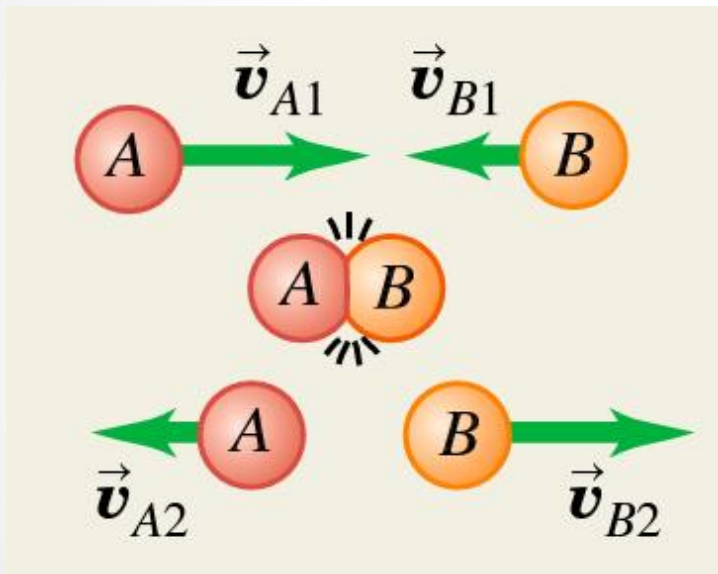
Física Moderna. Pearson Educación: 14ª edición. pp. 265

**8.31 •• Choque de asteroides.** Dos asteroides de igual masa, pertenecientes al cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter, chocan de forma oblicua. El asteroide *A*, que inicialmente viajaba a  $40.0 \text{ m/s}$ , se desvía  $30.0^\circ$  con respecto a su dirección original, mientras que el asteroide *B*, que inicialmente estaba en reposo, viaja a  $45.0^\circ$  con respecto a la dirección original de *A* (**figura E8.31**). *a*) Calcule la rapidez de cada asteroide después del choque. *b*) ¿Qué fracción de la energía cinética original del asteroide *A* se disipa durante el choque?

Figura **E8.31**



# Colisiones

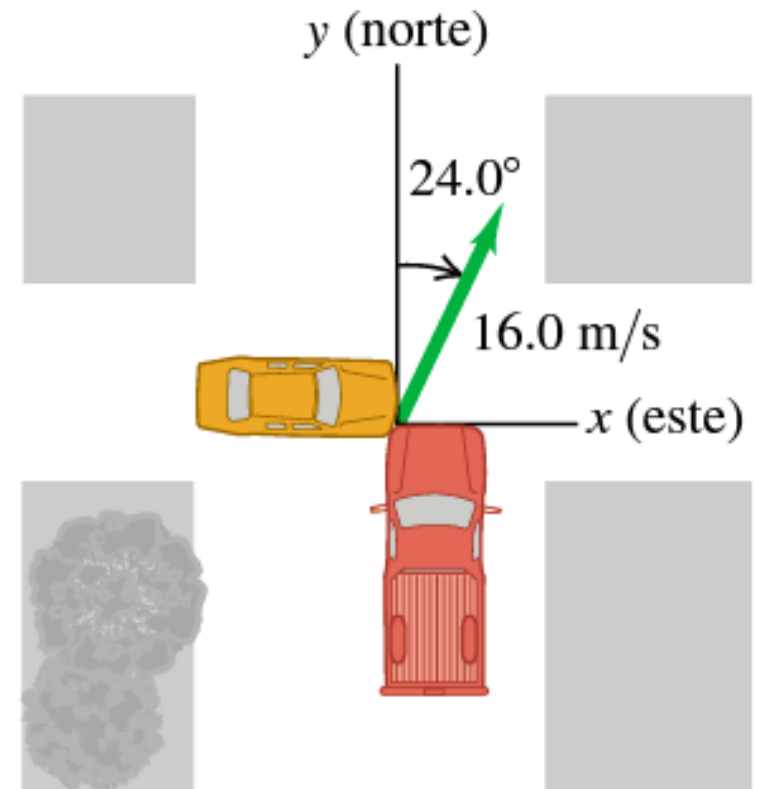


- Una **colisión elástica** entre dos objetos es aquella en donde la energía cinética total (así como la cantidad de movimiento total) del sistema es la misma antes y después de la colisión.
- En una **colisión inelástica** la energía cinética total del sistema no es la misma antes y después de la colisión (aun cuando la cantidad de movimiento del sistema se conserve). Las colisiones inelásticas son de dos tipos. Cuando los objetos se unen después de chocar, la colisión se llama **perfectamente inelástica**. Cuando los objetos en colisión no se unen, pero parte de la energía cinética se transforma o se transfiere, la colisión se llama **inelástica**.

Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 266

**8.41** • En el cruce de la Avenida Texas y el Paseo Universitario, un automóvil subcompacto amarillo de 950 kg que viaja al este por el Paseo choca con una camioneta *pickup* color rojo con masa de 1900 kg que viaja al norte por la Avenida Texas y no respetó el alto de un semáforo (**figura E8.41**). Los dos vehículos quedan unidos después del choque y se deslizan a 16.0 m/s en dirección 24.0° al este del norte. Calcule la rapidez de cada vehículo antes del choque. El choque tiene lugar durante una fuerte tormenta; las fuerzas de fricción entre los vehículos y el pavimento húmedo son despreciables.

Figura **E8.41**





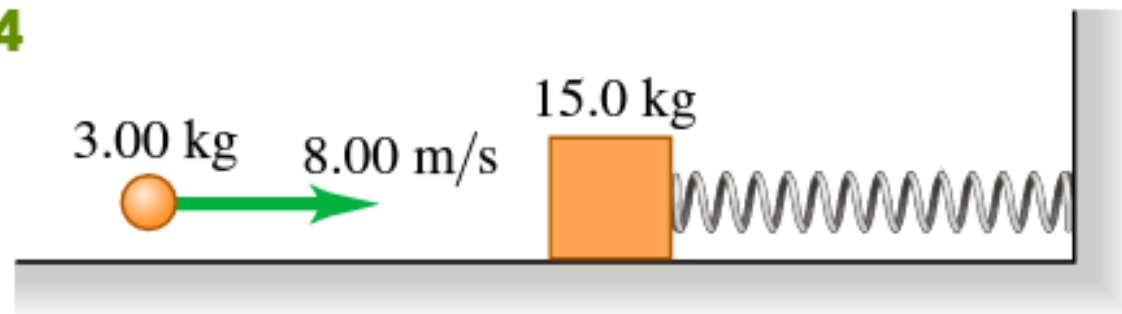
Ejemplo → Sears y Zemansky (2018). Física Universitaria con

Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 266

**8.43 •• Péndulo balístico.** Una bala de rifle de 12.0 g se dispara a 380 m/s contra un péndulo balístico de 6.00 kg de masa, suspendido de una cuerda de 70.0 cm de longitud (vea el ejemplo 8.8, sección 8.3). Calcule *a*) la distancia vertical que sube el péndulo, *b*) la energía cinética inicial de la bala y *c*) la energía cinética de la bala y el péndulo inmediatamente después de que la bala se incrusta en el péndulo.

**8.44 •• Combinación de las leyes de conservación.** Un bloque de 15.0 kg está sujeto a un resorte horizontal muy ligero con constante de fuerza de 500.0 N/m, que reposa sobre una mesa horizontal sin fricción (**figura E8.44**). De repente, es golpeado por una piedra de 3.00 kg que viaja de forma horizontal a 8.00 m/s hacia la derecha, con lo cual la piedra rebota horizontalmente a 2.00 m/s hacia la izquierda. Calcule la distancia máxima que el bloque comprime el resorte después del choque.

Figura **E8.44**

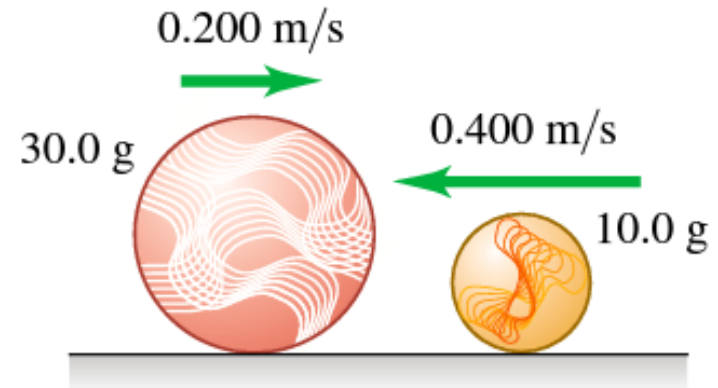


Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 266

**8.48** • Una canica de 10.0 g se desliza a la izquierda a 0.400 m/s sobre una acera horizontal de Nueva York, cubierta de hielo y sin fricción, y tiene un choque elástico de frente con una canica de 30.0 g que se desliza a la derecha con una velocidad de magnitud igual a 0.200 m/s (**figura E8.48**).

*a)* Determine la velocidad (magnitud y dirección) de cada canica después del choque (puesto que el choque es de frente, los movimientos son en una línea). *b)* Calcule el *cambio en la cantidad de movimiento* (es decir, la cantidad de movimiento después del choque menos la cantidad de movimiento antes del choque) para cada canica. Compare los valores obtenidos. *c)* Calcule el *cambio de energía cinética* (es decir, la energía cinética después del choque menos la energía cinética antes del choque) para cada canica. Compare los valores obtenidos.

Figura **E8.48**

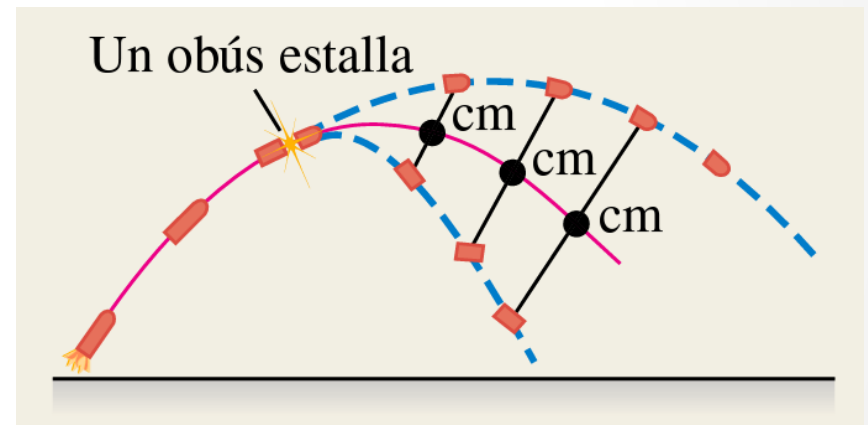




# Centro de masa

- La posición del centro de masa del sistema se describe como la *posición promedio* de la masa del sistema. El centro de masa del sistema se ubica en algún lugar en la línea que une las dos partículas y esta más cerca de la partícula que tiene la masa más grande.

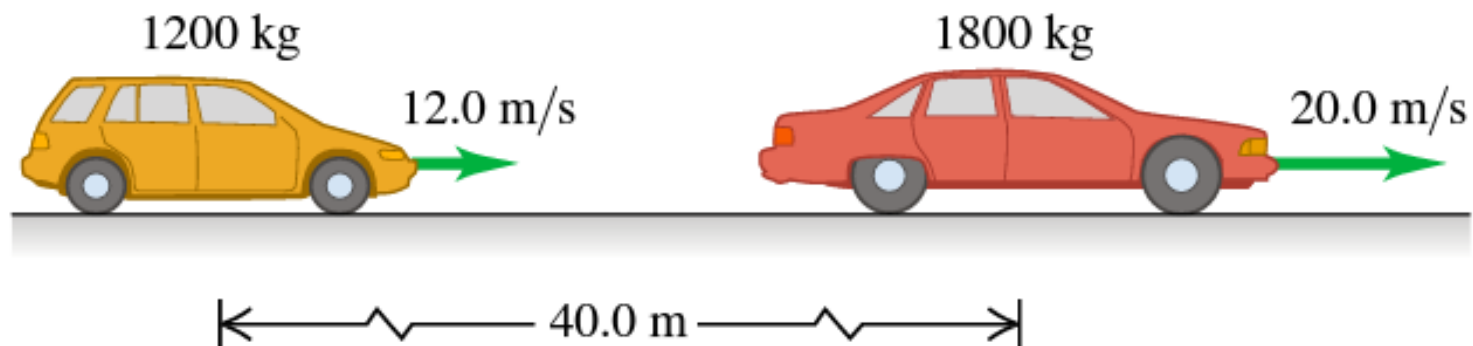
$$\vec{r}_{CM} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \cdots + m_n \vec{r}_n}{m_1 + m_2 + \cdots + m_n}$$



Física Moderna. Pearson Educación: 14<sup>a</sup> edición. pp. 267

**8.54** • Una camioneta SUV de 1200 kg avanza en una autopista recta a 12.0 m/s. Otro automóvil, con masa de 1800 kg y rapidez de 20.0 m/s, tiene su centro de masa 40.0 m adelante del centro de masa de la camioneta (**figura E8.54**). Determine *a*) la posición del centro de masa del sistema formado por los dos vehículos; *b*) la magnitud de la cantidad de movimiento total del sistema, a partir de los datos anteriores; *c*) la rapidez del centro de masa del sistema; *d*) la cantidad de movimiento total del sistema, usando la rapidez del centro de masa. Compare su resultado con el del inciso *b*).

Figura **E8.54**



# CAPÍTULO 8 RESUMEN

**SOLUCIONES A TODOS LOS EJEMPLOS**



## PROBLEMA PRÁCTICO

## UN CHOQUE DESPUÉS DE OTRO



**SOLUCIÓN**