18- Momento lineal y choques

- Momento lineal o cantidad de movimiento o ímpetu.
- Impulso.
- Conservación del momento lineal.
- Colisiones

MOMENTO LINEAL E IMPULSO

Momento lineal o cantidad de movimiento o ímpetu

Definimos **momento lineal (o cantidad de movimiento o ímpetu) *p*** de un objeto (partícula) de masa m y velocidad **v**:

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

Unidades del SI para momento lineal son: kg.m/s.

La cantidad de movimiento es una cantidad vectorial con la misma dirección y sentido que velocidad del objeto.

Sus componentes en dos dimensiones serían: $p_x = mv_x$ y $p_y = mv_y$

La magnitud de la cantidad de movimiento *p de un objeto de masa m puede relacionarse* a su energía cinética *K:*

$$K = \frac{p^2}{2m}$$

Segunda ley de Newton en términos del momento lineal:

$$\sum \bar{F} = \frac{d\bar{p}}{dt}$$

La fuerza neta (suma vectorial de todas las fuerzas) que actúa sobre una partícula es igual a la rapidez de cambio del momento lineal de la partícula.

Forma original que Newton planteó su 2da. ley (él llamó *momentum al momento lineal).*

***Recordar que solo es válida en marcos de referencia* inerciales.**

MOMENTO LINEAL E IMPULSO

Si la fuerza neta es constante, o consideramos una fuerza media, podemos escribir:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\text{cambio en la cantidad de movimiento}}{\text{intervalo de tiempo}} = \vec{F}_{\text{neta}}$$

Es decir que la cantidad de movimiento lineal del objeto se conserva cuando la fuerza neta es cero.

Además, la ecuación nos dice que para cambiar la cantidad de movimiento de un objeto se necesita la aplicación continua de una fuerza en un tiempo Δ*t, lo que nos conduce a la definición de* ***impulso:***

Si una fuerza constante **F** actúa sobre un objeto, el **impulso I** que se entrega al objeto en un lapso Δ*t está dado por:*

$$\overline{I} = \overline{F}\Delta t$$

Estrictamente, el impulso asociado a una fuerza cualquiera F, que actúa sobre un cuerpo entrelos instantes t_1 y t_2 se define como:

$$\overline{I} = \int_{t_1}^{t_2} \overline{F}\,dt$$

Unidad SI: kilogramo por metro sobre segundo (kg .m/s)

Impulso es una cantidad vectorial con la misma dirección y sentido que la fuerza que actúa sobre el objeto.

MOMENTO LINEAL E IMPULSO

Cuando actúa una fuerza neta constante **F**, teníamos que: $\frac{\Delta \bar{p}}{\Delta t} = \bar{F}_{neta}$

Podemos rescribirla de la siguiente forma:

$$\bar{I} = \bar{F}\Delta t = \Delta\bar{p} = \bar{p}_f - \bar{p}_i = m\bar{v}_f - m\bar{v}_i$$

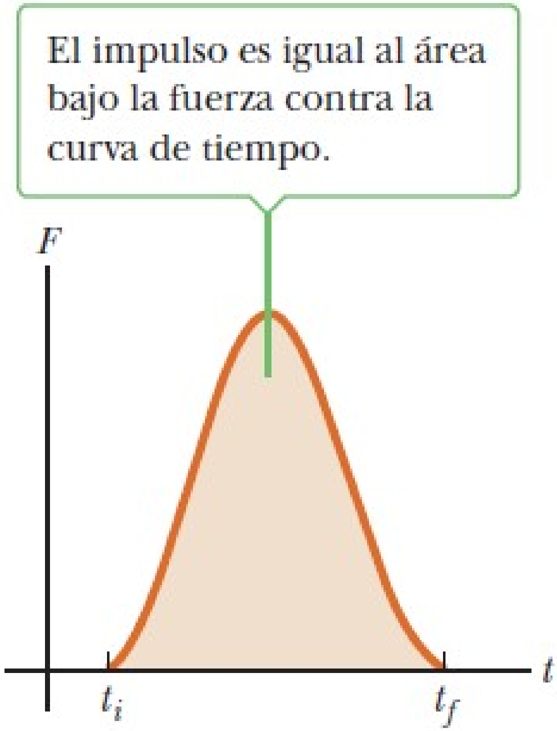
Esto es un caso especial del **teorema impulso-cantidad de movimiento.** La ecuación anterior muestra que **el impulso de la fuerza que actúa en un objeto es igual al cambio en la cantidad de movimiento.**

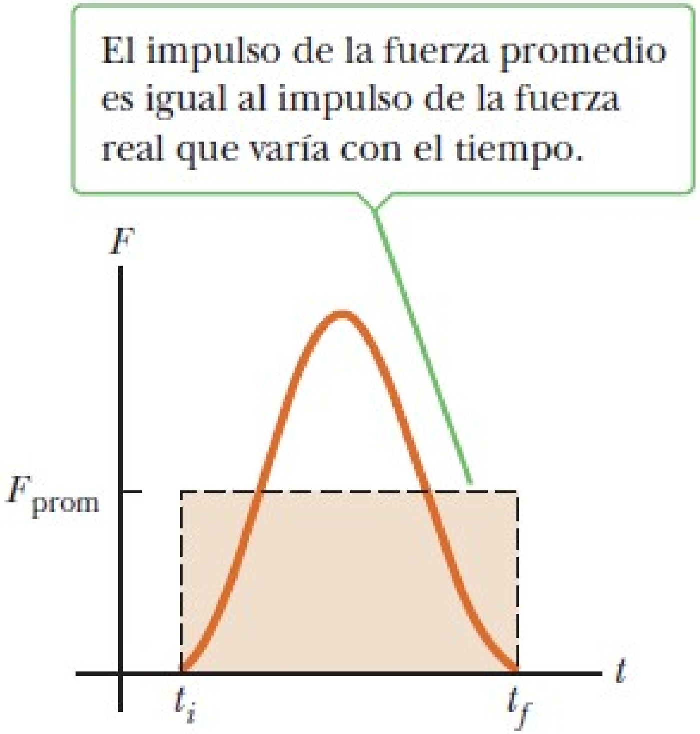
$$\bar{I} = \Delta\bar{p}$$

Teorema impulso-cantidad de movimiento: el cambio del momento lineal (cantidad de movimiento) de una partícula durante un intervalo de tiempo es igual al impulso de la fuerza neta que actúa sobre la partícula durante ese intervalo

En situaciones reales, la fuerza en un objeto rara vez es constante. Por ejemplo, cuando un bate golpea una pelota, la fuerza aumenta en forma abrupta, alcanza algún valor máximo y después disminuye con rapidez. La figura siguiente muestra una gráfica de fuerza en términos del tiempo para tal acontecimiento.

MOMENTO LINEAL E IMPULSO





Al comienzo la fuerza es pequeña conforme el bate se pone en contacto con la pelota, se eleva a un valor máximo cuando están firmemente en contacto y a continuación decae conforme la pelota deja el bate.

Con la finalidad de analizar esta interacción algo compleja, es útil definir una **fuerza promedio F$_{prom}$** indicada como la línea discontinua en la figura. Esta fuerza promedio es la fuerza constante que entrega el mismo impulso al objeto en el tiempo Δ*t conforme la fuerza* verdadera varía en el tiempo. En tal caso podemos escribir el teorema impulso-cantidad de movimiento como: $\bar{I} = \bar{F}_{prom}.\Delta t = \Delta\bar{p}$

La magnitud del impulso entregado por una fuerza durante el tiempo Δ*t* es igual al área bajo la curva en términos del tiempo como en la figura a) o bien, equivalentemente, a F$_{prom}$ Δ*t* como se muestra en la figura b).

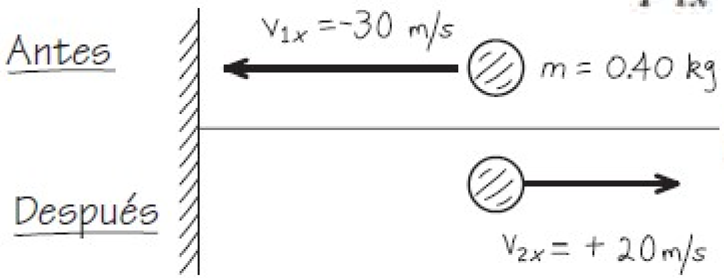
Ejemplo- Una pelota golpea una pared

Suponga que lanza una pelota de 0,40 kg contra una pared, a la cual golpea moviéndose horizontalmente hacia la izquierda a 30 m/s y rebotando horizontalmente a la derecha con rapidez de 20 m/s.

a) Calcule el impulso de la fuerza neta sobre la pelota durante el choque con la pared.

b) Si la pelota está en contacto con la pared durante 0,010 s, calcule la fuerza horizontal media que la pared ejerce sobre la pelota durante el impacto.

$$p_{1x} = mv_{1x} = (0.40\ \mathrm{kg})(-30\ \mathrm{m/s}) = -12\ \mathrm{kg \cdot m/s}$$



$$p_{2x} = mv_{2x} = (0.40\ \mathrm{kg})(+20\ \mathrm{m/s}) = +8.0\ \mathrm{kg \cdot m/s}$$

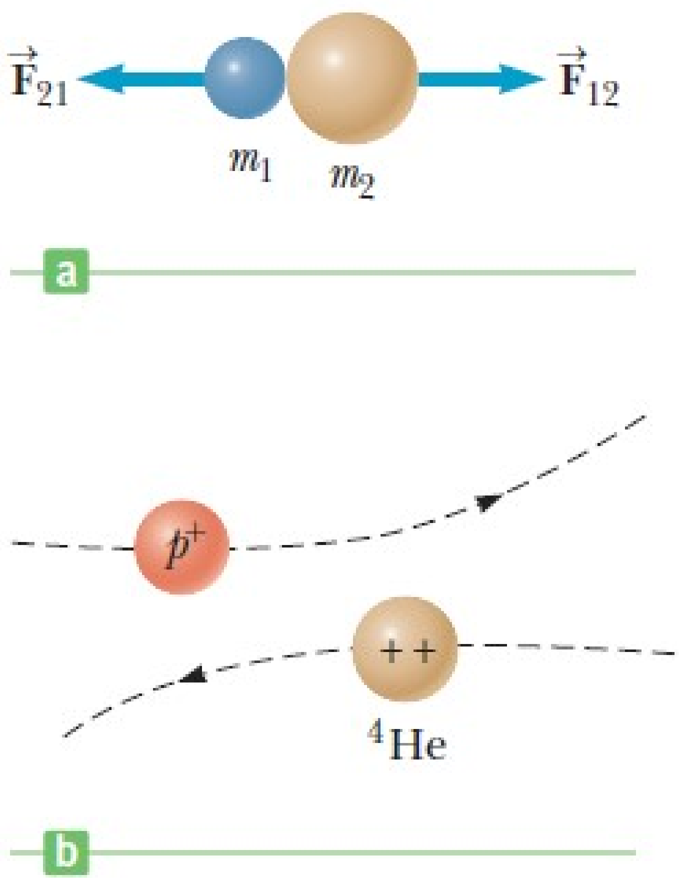
$$I_x = p_{2x} - p_{1x} = 8{,}0 - (-12) = 20\ kg.\frac{m}{s} = 20 N.s$$

b) Como: $I_x = F_{media}\,\Delta t$

$$F_{media} = \frac{I_x}{\Delta t} = \frac{20\ N.s}{0{,}010\ s} = 2{,}0 \times 10^3 N$$

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL

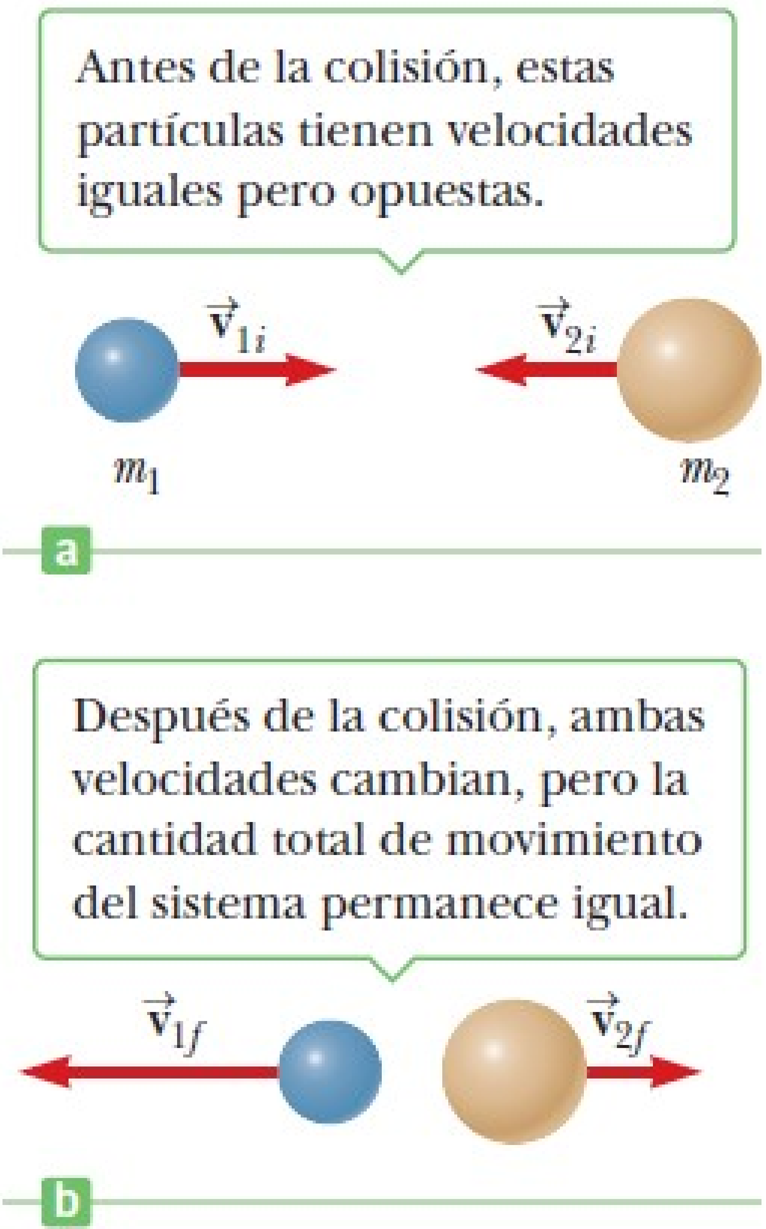
Cuando se presenta una colisión (choque) en un sistema aislado, la cantidad de movimiento total del sistema no cambia con el paso del tiempo, permanece constante.
Las cantidades de movimiento de objetos individuales en el sistema pueden cambiar, pero la suma vectorial de *todas las cantidades de movimiento* no cambiará.
Por lo tanto, se dice que la cantidad de movimiento total se debe *conservar.*



Es posible que una colisión sea el resultado del contacto físico entre dos objetos, como se muestra en la figura a. Es un suceso macroscópico común, como cuando se golpean entre sí un par de bolas de billar o una pelota de béisbol y un bate.
Las fuerzas entre dos objetos surgen de la interacción electrostática de los electrones en los átomos supericiales de los objetos.

Durante una colisión microscópica, las partículas no necesitan tocarse en el sentido normal con la finalidad de interactuar y transferir cantidad de movimiento.La figura b) muestra dos cargas positivas que se repelen entre sí.

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL



La figura muestra un **sistema aislado** de dos partículas antes y después de que colisionan. Por **"aislado"** entendemos que no existen fuerzas externas, como la fuerza gravitacional o de fricción, que actúen sobre el sistema.

Antes de la colisión, las velocidades de las dos partículas son, el subíndice *i* indica inicial mientras que el *f*, final.

El teorema impulso-cantidad de movimiento aplicado a m_1;

$$\overline{F}_{21}\Delta t = m_1\overline{v}_{1f} - m_1\overline{v}_{1i}$$

Aplicado a m_2

$$\overline{F}_{12}\Delta t = m_2\overline{v}_{2f} - m_2\overline{v}_{2i}$$

$\mathbf{F}_{21}$ es la fuerza promedio ejercida por m_2 *sobre* m_1 *durante la colisión, y* $\mathbf{F}_{12}$ es la fuerza promedio ejercida por m_1 *sobre* m_2 *durante la colisión.*

La tercera ley de Newton establece que todas las veces estas dos fuerzas son iguales en magnitud y dirección y con sentidos opuestos $\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}$. Además, las dos fuerzas actúan en el mismo lapso.

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL

Entonces: $\overline{\boldsymbol{F}}_{21}\Delta t = -\overline{\boldsymbol{F}}_{12}\Delta t$

Por lo que se cumple: $m_1\overline{\boldsymbol{v}}_{1f} - m_1\overline{\boldsymbol{v}}_{1i} = -(m_2\overline{\boldsymbol{v}}_{2f} - m_2\overline{\boldsymbol{v}}_{2i})$

Reordenando tenemos que: $m_1\overline{\boldsymbol{v}}_{1i} + m_2\overline{\boldsymbol{v}}_{2i} = m_1\overline{\boldsymbol{v}}_{1f} + m_2\overline{\boldsymbol{v}}_{2f}$

Este resultado es un caso especial del principio de **conservación de la cantidad de movimiento** y es verdadero para sistemas aislados que contienen cualquier número de objetos interactuando.

Cuando no hay una fuerza externa neta que actúe sobre un sistema, el impulso total del sistema se mantiene constante en el tiempo.

Una característica importante de aplicar esta ley de conservación es la definición de **sistema aislado**. El salto ascendente de una persona desde el reposo podría parecer que viola la conservación de cantidad de movimiento, debido a que originalmente su cantidad de movimiento es cero y repentinamente está dejando la supericie del piso con velocidad **v.** El defecto en este razonamiento se encuentra en el hecho de que la persona no está en un sistema aislado.

En el salto, ejerce una fuerza hacia abajo sobre la Tierra, cambiando su cantidad de movimiento. Este cambio en la cantidad de movimiento de la Tierra no es sensible debido a la enorme masa de la Tierra comparada con la de la animadora. **Cuando se define que el sistema es *la persona y la Tierra, se conserva* la cantidad de movimiento.**

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL

Principio de acción y reacción, junto con el intercambio de cantidad de movimiento entre dos objetos, es responsable del fenómeno conocido como *retroceso.*
Se sabe que al lanzar una pelota mientras se encuentra de pie, sin apoyar sus pies contra la Tierra, es una buena manera para caer hacia atrás.
Esta reacción es un ejemplo de retroceso; también sucede cuando dispara un arma o tira una flecha.
La conservación de cantidad de movimiento proporciona una manera directa de calcular tales efectos.

Definimos el **momento lineal total del sistema** **de dos partículas como la suma vectorial de los momentos** lineales de las partículas individuales.

Si la suma vectorial de las fuerzas externas sobre un sistema es cero, el momento lineal total del sistema es constante.

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL Y CHOQUES

Choque: cualquier interacción intensa entre cuerpos, con duración relativamente corta.

Incluimos accidentes automovilísticos, bolas que chocan en una mesa de billar, neutrones que inciden sobre núcleos atómicos, impacto de un meteorito sobre el terreno, y el encuentro cercano de una nave espacial con un planeta.

Si las fuerzas entre los cuerpos son mucho mayores que las externas, como suele suceder en la mayoría de los choques, podemos ignorar las fuerzas externas y **tratar los cuerpos como un sistema *aislado*.**

El ***momento lineal del sistema se conserva*** *y* tendrá el mismo valor antes y después del choque.

Dos automóviles que chocan en un cruce cubierto de hielo son un buen ejemplo. Incluso dos automóviles que chocan en pavimento seco se pueden tratar como un sistema aislado durante la colisión si las fuerzas entre los autos son mucho mayores que las fuerzas de fricción del pavimento contra los neumáticos.

COLISIONES

Hemos visto que para cualquier tipo de colisión, la cantidad de movimiento total del sistema momentos antes de la colisión es igual a la cantidad de movimiento precisamente después de la colisión, siempre que sea posible considerar que el sistema es aislado.

La energía cinética total, por una parte, generalmente no se conserva en una colisión ya que algo de la energía cinética se convierte en energía interna, energía sonora y el trabajo necesario para deformar de manera permanente los objetos involucrados, como los automóviles en un choque.

Una **colisión inelástica** se define como una colisión en la que **la cantidad de movimiento se conserva, pero la energía cinética no**. La colisión de una pelota de goma con una supericie dura es inelástica, debido a que algo de la energía cinética se pierde cuando la pelota se deforma durante el contacto con la supericie.

Cuando dos objetos colisionan y quedan unidos, la colisión se conoce como **perfectamente inelástica.** Por ejemplo, si dos pedazos de masilla colisionan, quedan pegados y se mueven con alguna velocidad
común después de la colisión. Si un meteorito choca contra la Tierra, se hunde en ésta y la colisión se considera perfectamente inelástica.

Una **colisión elástica** se define como una en la que **se conservan la energía cinética y la cantidad de movimiento.** Las colisiones de bolas de billar y de moléculas de aire con las paredes de un recipiente a temperaturas normales son altamente elásticas.

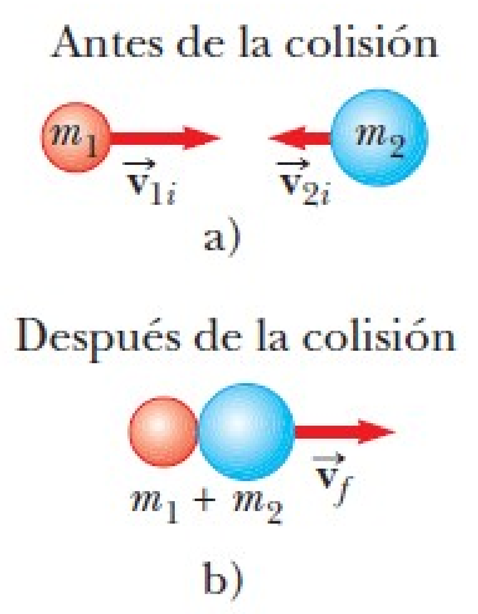
COLISIONES

Las colisiones macroscópicas por ejemplo entre bolas de billar son sólo aproximadamente elásticas, a causa de que se presenta cierta pérdida de energía cinética, por ejemplo, en el sonido que se produce cuando dos bolas se golpean. No obstante, las colisiones elásticas se presentan entre partículas atómicas y subatómicas.
Las colisiones perfectamente elásticas e inelásticas son casos *límite, la mayoría de las colisiones se encuentran dentro de la escala entre ellas.*
Los tipos de colisiones se pueden resumir como sigue:

■ En una **colisión elástica**, se conservan la cantidad de movimiento y la energía cinética.
■ En una **colisión inelástica**, se conserva la cantidad de movimiento, pero la energía cinética no.
■ En una **colisión perfectamente inelástica**, *se conserva la cantidad de movimiento,* la energía cinética no, y los dos objetos quedan unidos después de la colisión, de tal modo que sus velocidades al final son la misma.

Veremos solamente colisiones perfectamente inelásticas y colisiones elásticas en una dimensión.

CHOQUE TOTALMENTE INELÁSTICO



Choque totalmente inelástico, los cuerpos quedan unidos y por tanto tienen la misma velocidad.
Modelamos el sistema como aislado, es decir despreciamos el efecto de las fuerzas externas, por tanto el momento lineal se conserva.

$$m_1\vec{\mathbf{v}}_{1i} + m_2\vec{\mathbf{v}}_{2i} = (m_1 + m_2)\vec{\mathbf{v}}_f$$

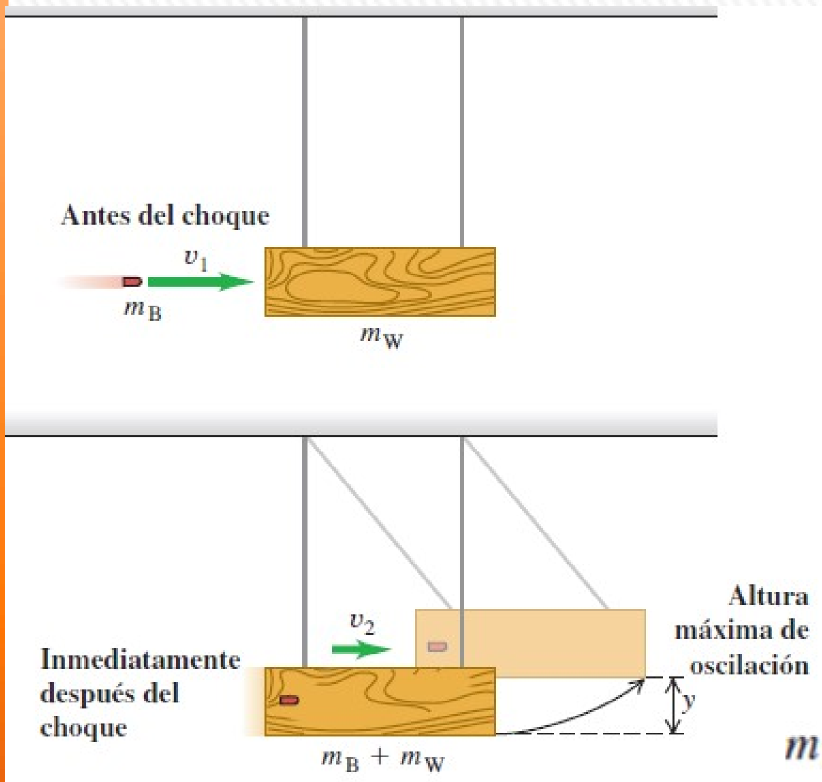
$$\vec{\mathbf{v}}_f = \frac{m_1\vec{\mathbf{v}}_{1i} + m_2\vec{\mathbf{v}}_{2i}}{m_1 + m_2}$$

Un choque en el que la energía cinética total final es *menor que la inicial* *es un* **choque inelástico.**

Una albóndiga que cae en un plato de espagueti y una bala que se incrusta en un bloque de madera son ejemplos de choques inelásticos.

Un choque inelástico en el que los cuerpos chocan y se mueven como uno solo después de la colisión es un **choque totalmente inelástico**.

Ejemplo: péndulo balístico



La figura muestra un péndulo balístico, un sistema sencillo para medir la rapidez de un proyectil. La bala, con masa m_B, *tiene un choque* totalmente inelástico con un bloque de madera de masa m_W *que* cuelga como péndulo. Después del impacto, el bloque oscila hasta una altura máxima *y. En términos de y, m_B y m_W, ¿qué rapidez inicial v_1* tiene la bala?

b) ¿Qué velocidad debería tener una bala de 40,0 g para que un bloque de 5,0 0 kg alcance una altura de 30,0 cm?

Conservación del momento lineal:

$$m_B v_1 = (m_B + m_W) v_2 \qquad v_1 = \frac{m_B + m_W}{m_B} v_2$$

Conservación de la energía después del choque:

$$\frac{1}{2}(m_B + m_W) v_2^2 = (m_B + m_W) g y$$

$$v_2 = \sqrt{2gy}$$

$$v_1 = \frac{m_B + m_W}{m_B}\sqrt{2gy} \qquad v_1 = \frac{40{,}0 + 5000}{40{,}0}\sqrt{2(9{,}8)(0{,}300)} = 305{,}54 \text{ m/s}$$

v_1= 306 m/s

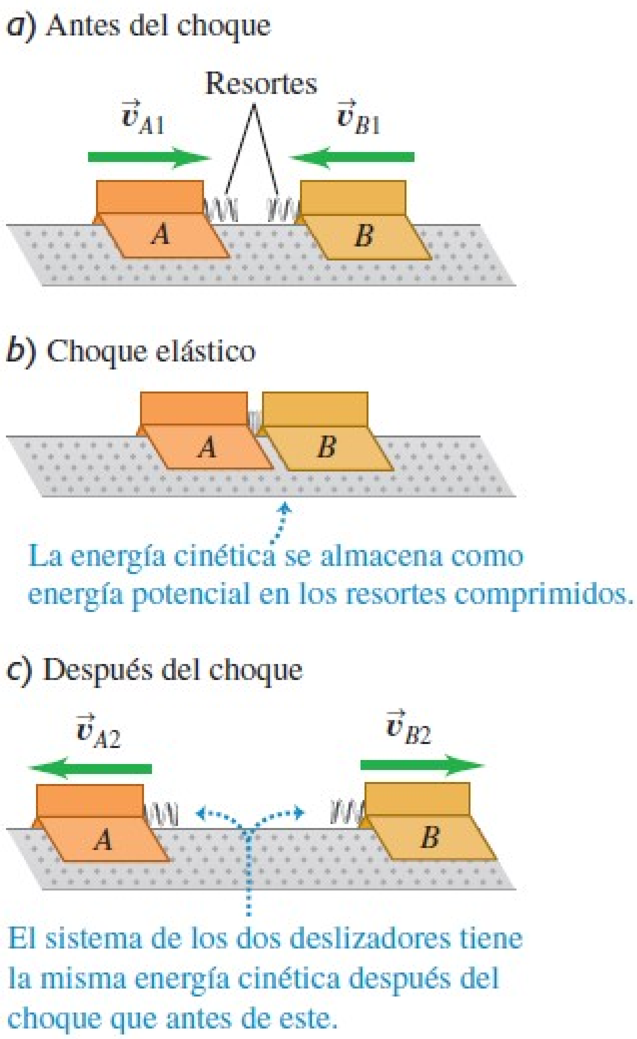
Choques elásticos

Si las ***fuerzas*** entre los cuerpos son ***conservativas***, *de manera* ***que no se pierde ni gana* energía mecánica en el choque, la energía *cinética total del sistema es la misma antes* y después del choque**.

Esto se denomina **choque elástico.**

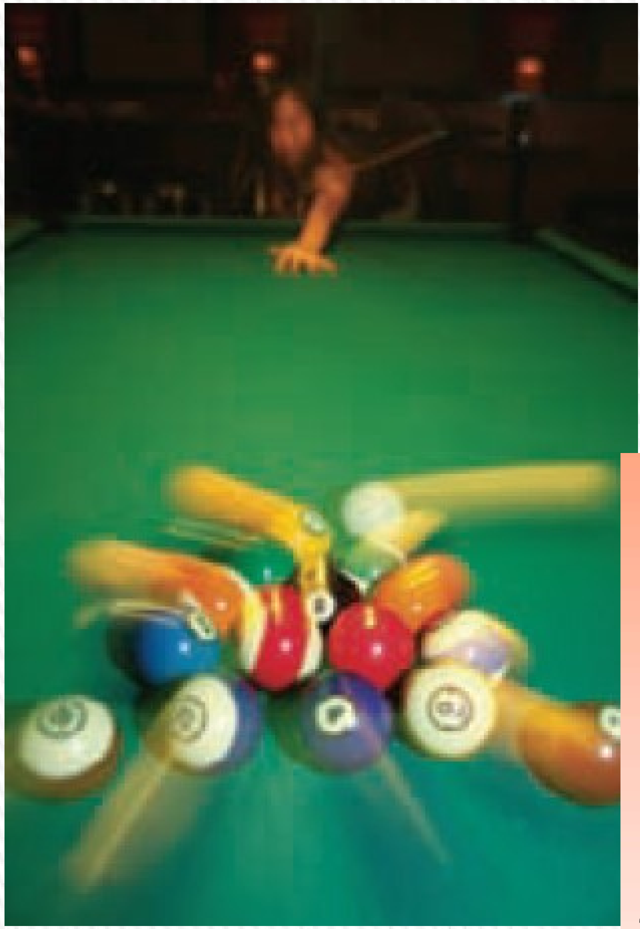
Un choque entre dos canicas o dos bolas de billar es casi totalmente elástico.

La figura muestra un **modelo de choque elástico**.



CHOQUES ELÁSTICOS

Choque elástico en un sistema aislado *es uno en el* que se conserva la energía cinética, y obviamente el momento lineal.

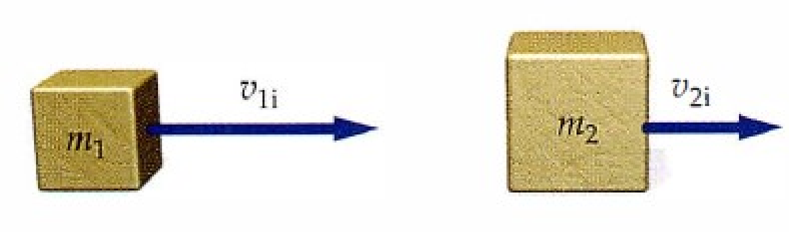


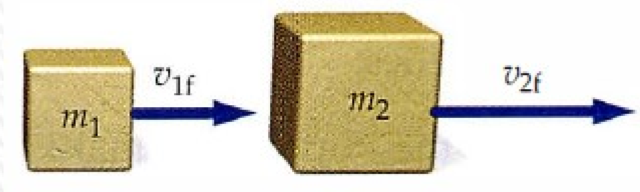
Si chocan dos bolas de billar, se aplastan un poco cerca de la superficie de contacto, pero luego rebotan. Parte de la energía cinética se almacena temporalmente como energía potencial elástica, pero al final se convierte una vez más en energía cinética.

Choque elástico entre dos cuerpos A *y B* en una dimensión, con todas las velocidades en la misma línea, la que elegimos como eje *x.*

Los momentos lineales y las velocidades solo tienen componentes x.
Llamamos v_{1i} *y* v_{2i} *a las velocidades x antes del choque,* *y* v_{1f} *y* v_{2f} a las velocidades después del choque.

CHOQUES ELÁSTICOS





Conservación del momento lineal:

$$m_1\overline{\boldsymbol{v}}_{1i} + m_2\overline{\boldsymbol{v}}_{2i} = m_1\overline{\boldsymbol{v}}_{1i} + m_2\overline{\boldsymbol{v}}_{2i} \quad (1)$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

Conservación de la energía cinética: $\frac{1}{2}m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2}m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2f}^2 \quad (2)$

Operando se llega al siguiente resultado: $(v_{1i} - v_{2i}) = -(v_{1f} - v_{2f})$

Con esa ecuación y con la conservación del momento lineal se llega a que:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

CHOQUES ELÁSTICOS

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

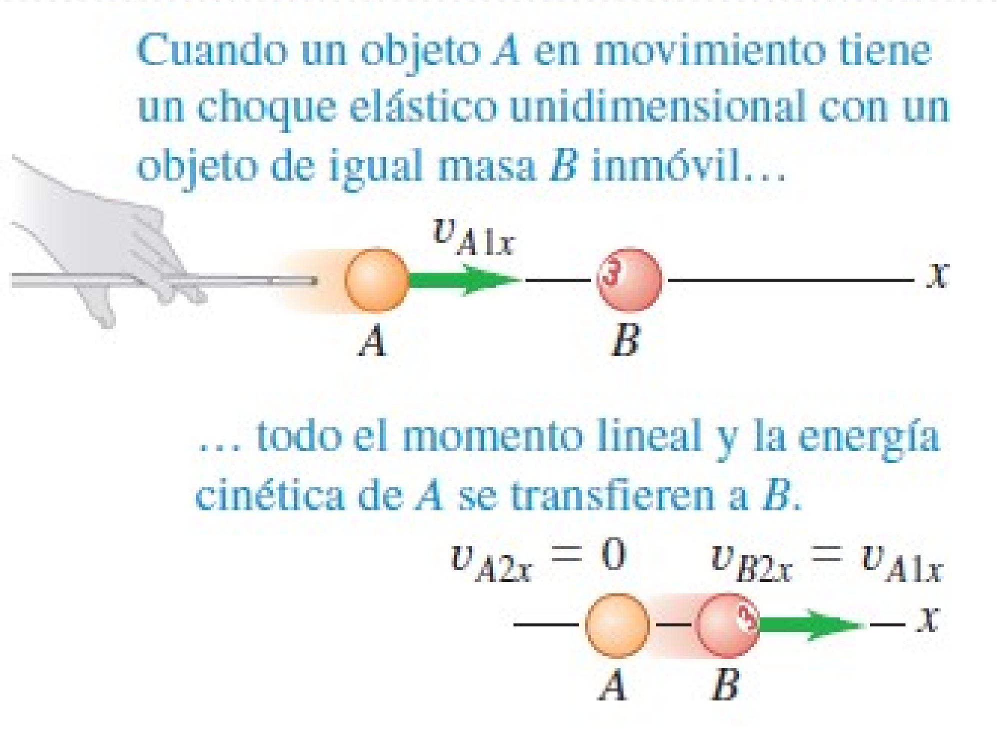
Veamos el caso particular en que el objeto 2 está inicialmente en reposo (v_{2i}=0)

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i}$$

Si además las masas son iguales: $m_1 = m_2$

$v_{1f} = 0$ $\qquad$ $v_{2f} = v_{1i}$



Si $m_1 << m_2$:

$$v_{1f} \cong -v_{1i} + 2v_{2i}$$

$$v_{2f} \cong v_{2i}$$

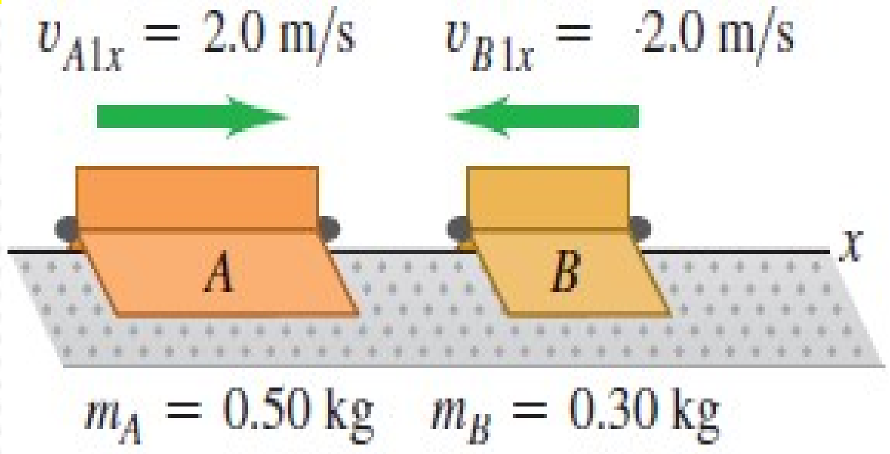
Si $m_1 >> m_2$:

$$v_{1f} \cong v_{1i}$$

$$v_{2f} \cong 2v_{1i} - v_{2i}$$

Ejemplo: choque elástico entre deslizadores

Dos deslizadores de masas m_A= 0,50 kg y m_B= 0,30 kg se acercan uno al otro sobre un riel de aire sin fricción. El deslizador A tiene una velocidad inicial hacia la derecha v_{A1x} = 2,0 m/s, mientras que el deslizador B se dirige hacia la izquierda con una velocidad v_{B1x} = 2,0 m/s. Ambos deslizadores tienen agregados resortes ideales como parachoques, de modo que el choque sea elástico. ¿Cuáles son las velocidades finales de los deslizadores?



Vamos a aplicar directamente las expresiones vistas…

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

$$v_{2f} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1i} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{2i}$$

Para nuestro caso tenemos: $m_1 = m_A$ = 0,50 kg; $m_2 = m_B$ = 0,30 kg

$v_{1i} = v_{A1x}$ = +2,0 m/s; $v_{3i} = -v_{B1x}$ = -2,0 m/s .

$$v_{Af} = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B} v_{Ai} + \frac{2m_B}{m_A + m_B} (-v_{Bi}) = \frac{0{,}50 - 0{,}30}{0{,}50 + 0{,}30} 2{,}0 - \frac{2(0{,}30)}{0{,}50 + 0{,}30} 2{,}0 = -1{,}0\ m/s$$

$$v_{Bf} = \frac{2m_A}{m_A + m_B} v_{Ai} + \frac{m_B - m_A}{m_A + m_B} (-v_{Bi}) = \frac{2(0{,}50)}{0{,}50 + 0{,}30} 2{,}0 - \frac{(0{,}30 - 0{,}50)}{0{,}50 + 0{,}30} 2{,}0 = 3{,}0\ m/s$$

COLISIONES TANGENCIALES

En una colisión de dos objetos en el espacio de tres dimensiones, el principio de conservación de la cantidad de movimiento implica que se conserva la cantidad de movimiento total del sistema en cada dirección (en c/u de los ejes).
Veremos choques que se realizan en dos dimensiones: es decir en un plano.
Como en el juego de billar es un ejemplo conocido que incluye varias colisiones de objetos moviéndose en una supericie en dos dimensiones.
Veremos el choque en dos dimensiones entre dos objetos que toma lugar en un plano y descartamos cualquier rotación posible.
Conservación de la cantidad de movimiento para c/u de los ejes:

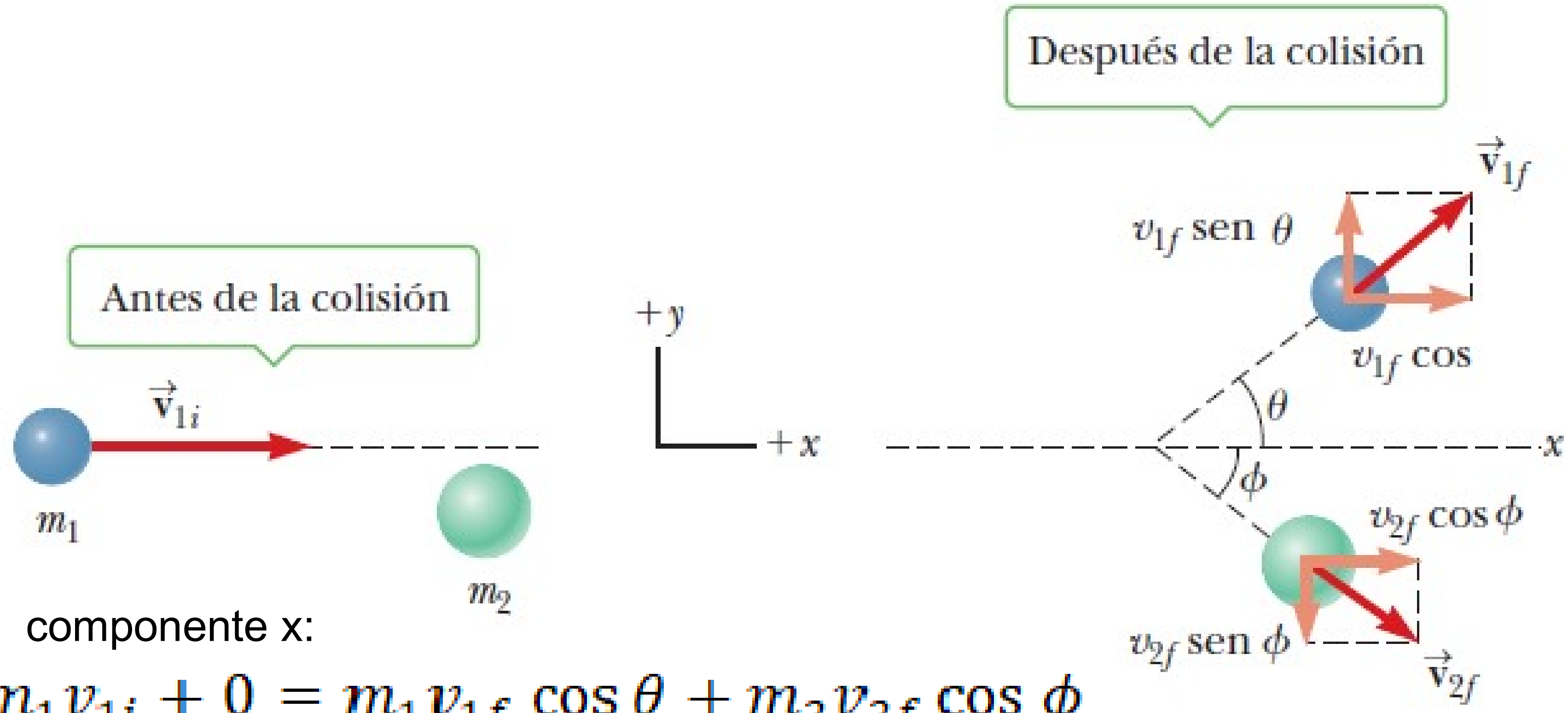
$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1fx} + m_2 v_{2fx}$$

$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = m_1 v_{1fy} + m_2 v_{2fy}$$

Se utilizan tres subíndices en esta ecuación general, para representar, respectivamente: 1) el objeto en la pregunta y 2) los valores inicial y final de las componentes de la velocidad.y 3) el eje que se está analizando.

Como ejemplo veremos el caso en que se considera un problema en dos dimensiones en el que un objeto de masa m_1 colisiona con un objeto de masa *m_2 que está inicialmente en reposo,*

COLISIONES TANGENCIALES



componente x:

$$m_1 v_{1i} + 0 = m_1 v_{1f} \cos\theta + m_2 v_{2f} \cos\phi$$

componente y:

$$0 + 0 = m_1 v_{1f} \sin\theta - m_2 v_{2f} \sin\phi$$

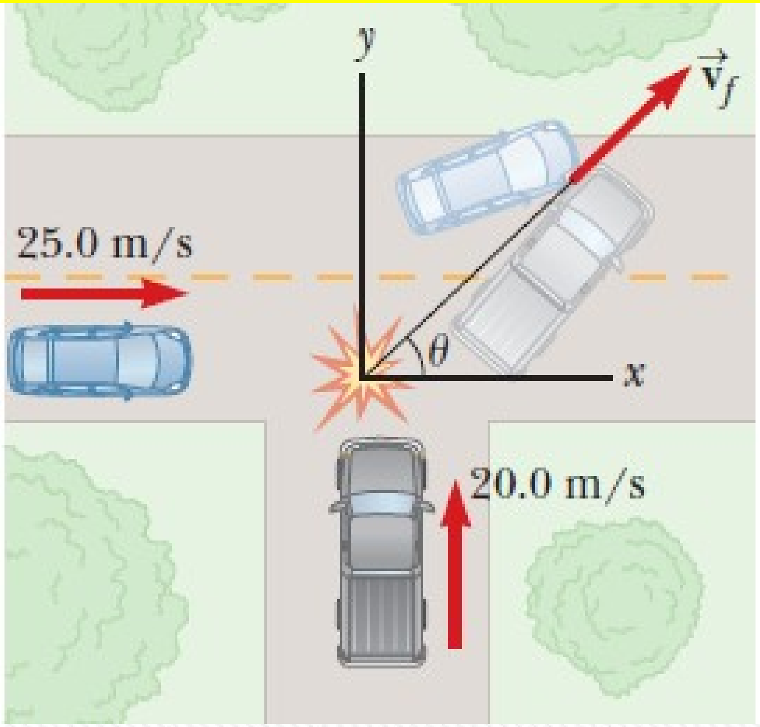
Si la colisión es elástica, podemos escribir una tercera ecuación, para la conservación de la energía:

$$\frac{1}{2} m_1 {v_{1i}}^2 = \frac{1}{2} m_1 {v_{1f}}^2 + \frac{1}{2} m_2 {v_{2f}}^2$$

COLISIONES TANGENCIALES

Si conocemos la velocidad inicial v_{1i} *y las masas, quedan cuatro incógnitas* (v_{1f}, v_{2f} θ *y* ϕ *).*
Debido a que sólo tenemos tres ecuaciones, una de las cuatro cantidades restantes debe conocerse con la finalidad de determinar el movimiento después de la colisión de acuerdo sólo con el principio de conservación.

Ejemplo: choque en un cruce



Un automóvil con 1,50 ×10^3 kg de masa viajando al este con una rapidez de 25,0 m/s colisiona en un cruce con una camioneta *de* 2,50 ×10^3 kg *que viaja* al norte con una velocidad de 20,0 m/s. Determine la magnitud y dirección de la velocidad de los restos después de la colisión, suponiendo que los vehículos se someten a una colisión perfectamente inelástica (es decir, se unen) y suponiendo que se puede despreciar la fricción entre los vehículos y el camino.

Calculo las componentes en *x de las cantidades* de movimiento total inicial y final:

$$\sum p_{xi} = m_{\text{auto}} v_{\text{auto}} = (1.50 \times 10^3\ \text{kg})(25.0\ \text{m/s})$$
$$= 3.75 \times 10^4\ \text{kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\sum p_{xf} = (m_{\text{auto}} + m_{\text{van}}) v_f \cos\theta = (4.00 \times 10^3\ \text{kg}) v_f \cos\theta$$

$$(1) \quad 3.75 \times 10^4\ \text{kg} \cdot \text{m/s} = (4.00 \times 10^3\ \text{kg}) v_f \cos\theta$$

Ejemplo: choque en un cruce

Calculo las componentes en *y de las cantidades* de movimiento total inicial y final:

$$\sum p_{iy} = m_{\text{van}} v_{\text{van}} = (2.50 \times 10^3 \text{ kg})(20.0 \text{ m/s})$$
$$= 5.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\sum p_{fy} = (m_{\text{auto}} + m_{\text{van}}) v_f \text{ sen } \theta = (4.00 \times 10^3 \text{ kg}) v_f \text{ sen } \theta$$

$$(2) \quad 5.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = (4.00 \times 10^3 \text{ kg}) v_f \text{sen } \theta$$

$$(1) \quad 3.75 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = (4.00 \times 10^3 \text{ kg}) v_f \cos \theta$$

Dividado la ecuación (2) entre la ecuación (1) y resuelvo θ:

$$\tan \theta = \frac{5.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{3.75 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}} = 1.33 \qquad \theta = \boxed{53.1^\circ}$$

Sustituyo el valor del ángulo en la ecuación (2) para encontrar v_f

$$v_f = \frac{5.00 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{(4.00 \times 10^3 \text{ kg}) \text{ sen } 53.1^\circ} = \boxed{15.6 \text{ m/s}}$$