

Carril de aire. Colisiones

Objetivo

Analizar la conservación de la cantidad de movimiento y estudiar las colisiones entre dos cuerpos.

Material

Carril de aire, soplador, dos puertas fotoeléctricas, dos carritos deslizadores, juego de pesas.

Fundamento teórico

Podemos definir una **colisión** como una interacción entre dos cuerpos que tiene lugar mediante fuerzas de interacción muy intensas que actúan durante un intervalo de tiempo relativamente corto. De esta manera es posible desprestigiar otras fuerzas externas (como el rozamiento, peso, etc...) de forma que la cantidad de movimiento del sistema formado por los dos cuerpos se mantiene constante entre un instante anterior y otro posterior a la colisión. Para toda colisión se cumple por lo tanto:

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \quad (1)$$

Hablaremos de **choque frontal** cuando la velocidad inicial de los dos cuerpos se sitúa en la recta en la que actuarán las fuerzas durante la colisión. Como sólo puede haber cambio de velocidad en la dirección en que actúan las fuerzas, las velocidades finales de los cuerpos también deberán estar dirigidas en esta misma recta (no cambiará la dirección del vector velocidad de los cuerpos). En este caso la conservación de la cantidad de movimiento queda, en componentes:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2 \quad (2)$$

donde v hace referencia a las velocidades iniciales de cada cuerpo y v' a las velocidades finales.

En algunos casos, cuando la deformación que sufren los cuerpos durante la colisión es elástica y éstos recuperan completamente su forma inicial después de la colisión, no ocurre pérdida de energía. Se produce una transferencia de energía cinética entre los dos cuerpos sin pérdida de la misma. Este tipo de colisiones se denominan **colisiones elásticas** y en ellas se cumplirá para las velocidades iniciales y finales de cada cuerpo:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2 \quad (3)$$

En general existirá pérdida de energía cinética durante la colisión. Cuando esto ocurre hablaremos de **colisiones inelásticas**. En estos casos se cumple la **Regla de Huygens-Newton** que establece:

$$(v'_1 - v'_2) = -e(v_1 - v_2) \quad (4)$$

donde e es el **coeficiente de restitución**, comprendido entre 0 y 1. Para $e = 0$ los dos cuerpos quedan unidos después de la colisión, que se denomina **colisión completamente inelástica**. La situación $e = 1$ corresponde con una colisión elástica y en este caso la ecuación (4) es equivalente a la ecuación (3). En general e tendrá un valor mayor que cero y menor que uno.

Resolviendo las ecuaciones (2) y (4) para el caso en que el cuerpo 2 está inicialmente en reposo ($v_2 = 0$) obtenemos para las velocidades finales de cada cuerpo, en función de la velocidad inicial del cuerpo 1:

$$v'_2 = v_1 \frac{m_1(1+e)}{m_1+m_2} \quad (5)$$

$$v'_1 = v_1 \left(\frac{m_1(1+e)}{m_1+m_2} - e \right) \quad (6)$$

Notar que en el caso de una colisión elástica ($e = 1$) y si $m_1 = m_2$, la velocidad final de la partícula 1 dada por la ecuación (6) se hace nula ($v'_1 = 0$).

También es posible determinar a partir de estas ecuaciones el coeficiente de restitución e conociendo la velocidad inicial del cuerpo 1 y la velocidad final del cuerpo 2. En este caso obtenemos:

$$e = \frac{m_1+m_2}{m_1} \frac{v'_2}{v_1} - 1 \quad (7)$$

Para verificar la validez de estas expresiones, realizaremos diferentes experiencias haciendo colisionar dos cuerpos con diferentes masas y velocidades iniciales.

Método experimental

Conservación de la cantidad de movimiento

Pesa los deslizadores en la báscula del laboratorio y móntalos en el carril de aire situando una pesa de 50g en cada una de las varillas laterales del deslizador 1 y tres de 10g en cada una de las varillas del deslizador 2. Fíjate en que los extremos con imán de cada deslizador queden uno frente al otro de forma que al aproximarse actúe la fuerza de repulsión magnética.

Sitúa las puertas fotoeléctricas próximas entre sí tal como muestra la figura 1, de forma que al lanzar los deslizadores éstos puedan colisionar en el espacio situado entre ambas puertas. Ten en cuenta que las placas metálicas de cada deslizador deben obturar a su paso los orificios de entrada y salida del haz de luz de la puerta fotoeléctrica. Con el interruptor de selección del contador en la posición de detección de tiempo de paso (consulta con tu profesor la posición correcta) podrás medir las velocidades de los deslizadores al paso por las puertas mediante la ecuación:

$$v'_2 = \frac{d}{\Delta t} \quad (8)$$

siendo d la anchura de la placa de aluminio y Δt el tiempo que tarda en pasar por la puerta.

A continuación enciende la bomba de aire y empuja suavemente los dos deslizadores para que colisionen en la sección del carril situada entre las puertas fotoeléctricas. Mide los Δt del paso de cada deslizador por las puertas antes y después de la colisión.

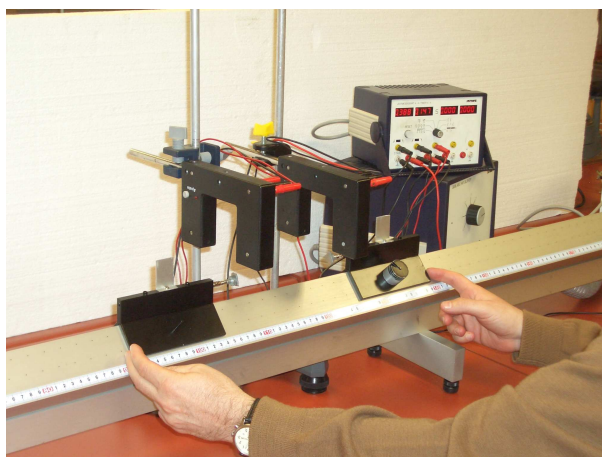


Figura 1: Montaje experimental para el estudio de las colisiones (1)

Repite la medida para 3 velocidades iniciales diferentes de los deslizadores. Vigila no imprimas una velocidad inicial excesiva ya que durante la colisión se pueden producir pequeños desplazamientos laterales de los deslizadores que producirían fuerzas no deseadas.

Recuerda apretar el botón 'reset' del contador antes de cada nueva medida.

Mueve a continuación las masas de 10g del deslizador 2 al deslizador 1 (que ahora tendrá 80g en cada varilla) y repite las experiencias para este caso.

Construye una tabla con los valores medidos de m_1 , m_2 (estos valores se obtienen de la suma de la masa de los deslizadores y de las pesas situadas en las varillas), Δt_1 , Δt_2 , $\Delta t'_1$, $\Delta t'_2$, v_1 , v_2 , v'_1 y v'_2 (ecuación 8) para cada una de las experiencias realizadas.

Colisiones elásticas

Monta los deslizadores en el carril de aire situando una pesa de 50g en cada una de las varillas laterales de los mismos. Fíjate en que los extremos con imán de cada deslizador queden uno frente al otro de forma que al aproximarse actúe la fuerza de repulsión magnética.

Sitúa las puertas fotoeléctricas antes y después del segundo deslizador (y próximas a él) tal como muestra la figura 2.

A continuación enciende la bomba de aire y empuja suavemente el deslizador 1 para que colisione con el deslizador 2 inicialmente en reposo. Mide los Δt_1 y $\Delta t'_2$ al paso del deslizador 1 por la puerta fotoeléctrica antes de la colisión y del deslizador 2 después de la colisión respectivamente.

Repite la medida para 5 velocidades iniciales diferentes del deslizador 1. Vigila no imprimas una velocidad inicial excesiva ya que durante la colisión se pueden producir pequeños desplazamientos laterales de los deslizadores que producirían fuerzas no deseadas.

Recuerda apretar el botón 'reset' del contador antes de cada nueva medida.

Construye una tabla con los valores medidos de Δt_1 , Δt_2 , v_1 y v'_2 (ecuación 8) para la combinación

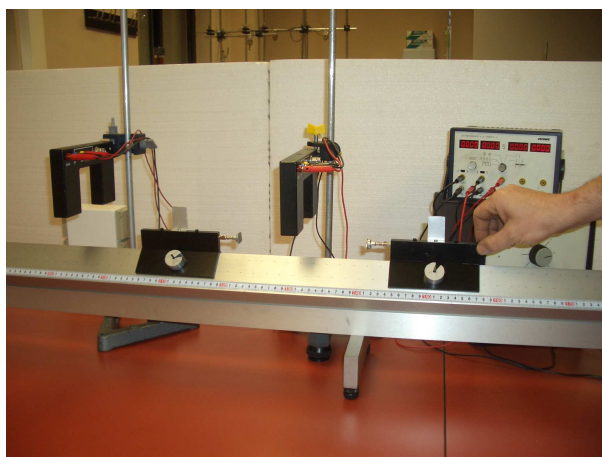


Figura 2: Montaje experimental para el estudio de las colisiones (2)

m_1, m_2 estudiada (los valores de las masas se obtienen de la suma de la masa de los deslizadores y de las pesas situadas en las varillas).

Mueve a continuación las dos masas de 50g del deslizador 2 al deslizador 1 (que ahora tendrá 100g en cada varilla) y repite las experiencias para este caso.

Resultados

Conservación de la cantidad de movimiento

Construye una tabla indicando para cada una de las experiencias realizadas p_1, p_2, p'_1, p'_2, P y P' , donde p y p' hace referencia a la cantidad de movimiento inicial y final de cada partícula y P y P' a la cantidad de movimiento inicial y final de todo el sistema.

Comenta los resultados obtenidos en relación con lo predicho por la teoría (ecuación 2).

Colisiones elásticas

La fuerza de repulsión magnética entre dos imanes (en una dimensión) se puede considerar conservativa por lo que la colisión entre los dos deslizadores es aproximadamente elástica. Este hecho se puede comprobar cualitativamente analizando la velocidad final del deslizador 1 cuando ambos deslizadores tienen la misma masa.

Justifica la afirmación anterior a partir de las fórmulas 6 y 5, y de la velocidad final observada para el deslizador 1 cuando deslizadores tienen la misma masa.

Representa gráficamente v'_2 en función de v_1 para cada combinación de masas m_1, m_2 utilizadas. ¿Qué dependencia obtienes?. ¿Justifica este resultado las predicciones realizadas por la teoría?

Calcula a partir de la regresión lineal de las curvas anteriores el valor del coeficiente de restitución de la colisión entre los deslizadores. ¿Qué indica el valor obtenido?

Cuestiones

1. Partiendo de las ecuaciones 2 y 4, demuestra las ecuaciones 5, 6 y 7.
2. Piensa y explica razonadamente cómo podríamos determinar experimentalmente el coeficiente de restitución de la colisión entre una pelota de ping-pong y el suelo. Realiza la experiencia en casa y da una aproximación de este coeficiente.

Problemas

1. Un péndulo está formado por una lenteja de 0.4 kg de masa atada a una cuerda de longitud 1.6 m. El péndulo se deja caer desde el reposo bajo un ángulo de 53° con la vertical y choca contra un bloque de masa $m=5\text{kg}$ situado sobre una superficie sin rozamiento como muestra la figura. Si el coeficiente de restitución de la colisión es $e=0.8$, determinar:
 - a) Velocidad final de cada partícula después de la colisión.
 - b) Ángulo que formará la cuerda con la vertical cuando el péndulo se vuelva a detener.
 - c) Energía cinética perdida durante la colisión.

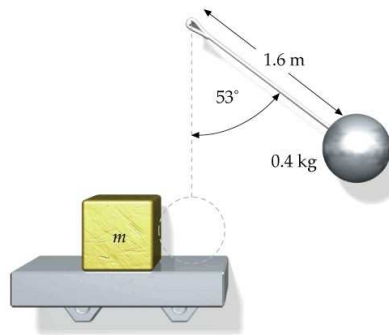


Figura 3: Problema 1

2. La figura muestra el resultado de un choque entre dos objetos de distinta masa. A partir de los datos indicados en la figura, se pide:
 - a) Velocidad final de la bola de mayor masa y el ángulo θ_2 que formará con la horizontal.
 - b) Demostrar que el choque es elástico.
 - c) Razona cómo habrían cambiado θ_1 y θ_2 si el choque no hubiera sido elástico.

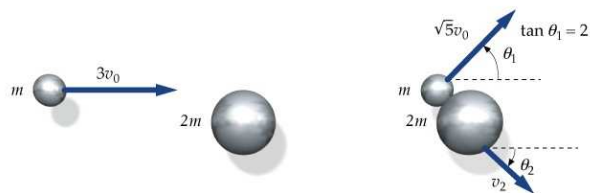


Figura 4: Problema 2