Colisiones

Objetivo

Estudiar las colisiones elásticas e inelásticas entre dos cuerpos.

Material

Soporte vertical, puerta fotoeléctrica, 4 cuerdas, 2 bolas de acero de 25 mm de diámetro, 1 bola de acero de 20 mm de diámetro, funda de espuma, regla con soporte vertical.

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 despreciar 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:

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \tag{1}$$

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 actúa la fuerza, 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:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \tag{2}$$

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:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v'^2_1 + \frac{1}{2} m_2 v'^2_2 \tag{3}$$

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:

$$(v'_1 - v'_2) = -e(v_1 - v_2) \tag{4}$$

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 estudiado en esta práctica (en la 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:

$$v_2' = v_1 \frac{m_1(1+e)}{m_1 + m_2} \tag{5}$$

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

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 conocidas la velocidad inicial del cuerpo 1 y la velocidad final del cuerpo 2. En este caso obtenemos:

$$e = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \frac{v_2'}{v_1} - 1 \tag{7}$$

Para verificar la validez de estas expresiones, realizaremos diferentes experiencias haciendo colisionar dos bolas de acero con diferentes velocidades iniciales.

Método experimental

Colisiones elásticas

Con la báscula del laboratorio pesa y anota la masa de cada una de las bolas que utilizarás en esta práctica.

Monta las dos bolas de acero de mayor diámetro en el soporte vertical mediante las cuerdas suministradas como indica la figura. Elige para colgar las cuerdas las ranuras marcadas en negro del soporte, de forma que en reposo las dos bolas se tocan pero no ejercen fuerza entre ellas.

Sitúa la puerta fotoeléctrica a la altura adecuada de forma que los orificios de entrada y salida del haz de luz queden a la altura del centro de la bola 2. Con el interruptor de selección de la puerta en la posición de detección de tiempo de paso (consulta con tu profesor la posición correcta) podrás medir la velocidad final de la bola 2 mediante la ecuación:

$$v_2' = \frac{d}{\Delta t} \tag{8}$$

siendo d el diámetro de la bola y Δt el tiempo que tarda en pasar por la puerta.

A continuación deja caer la bola 1 desde una altura $h = 1\ cm$ de forma que al colisionar sobre la bola 2, inicialmente en reposo, ésta atraviese la puerta fotoeléctrica. La velocidad inicial de la bola 1, antes

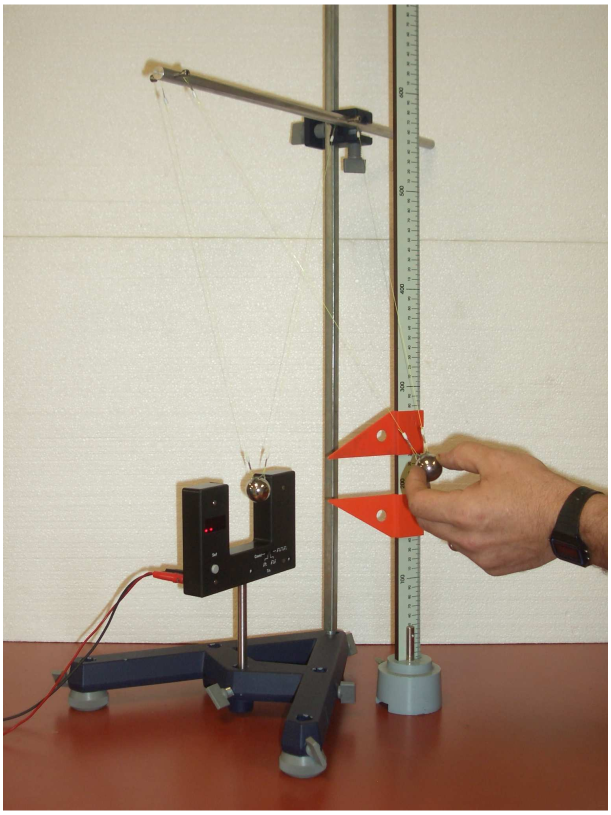

Figura 1: Montaje experimental para el estudio de las colisiones

de la colisión, se puede obtener fácilmente por conservación de la energía y vale:

$$v_1 = \sqrt{2gh} \tag{9}$$

Repite esta experiencia aumentando h hasta 10cm en incrementos de 1cm. Para cada posición realiza la medida tres veces y anota el valor medio de Δt. Recuerda apretar el botón 'reset' de la puerta fotoeléctrica antes de cada nueva medida.

Construye una tabla con los valores medidos de h, Δt, v_1 (ecuación 9) y v_2' (ecuación 8)

Sustituye a continuación la bola 1 por la bola de menor diámetro y repite las experiencias para este caso. Utiliza ahora la ranura del soporte marcada en rojo para que en reposo las dos bolas se toquen pero no ejerzan fuerzas entre ellas.

Colisiones inelásticas

Monta el dispositivo experimental con las dos bolas de mayor diámetro como se ha indicado anteriormente.

Coloca la banda de espuma alrededor de la bola 1 y hazla chocar contra la bola 2 dejándola caer desde una altura $h = 5\ cm$.

Mide el tiempo de paso de la bola 2 por la puerta fotoeléctrica y determina su velocidad mediante la ecuación 8. Repite la experiencia un mínimo de 8 veces.

Construye una tabla con los valores medidos de h, Δt, v_1 (ecuación 9) y v_2' (ecuación 8)

Resultados

Colisiones elásticas

El acero templado utilizado en la fabricación de las bolas es un material extremadamente rígido y presenta un comportamiento prácticamente elástico ante esfuerzos pequeños (como los que se producen durante las colisiones estudiadas). Este hecho se puede comprobar cualitativamente analizando la velocidad final de la bola 1 cuando ambas bolas tienen la misma masa.

Justifica la afirmación anterior a partir de las fórmulas 6 y 5, y de la velocidad final observada para la bola 1.

Representa gráficamente v_2' en función de v_1 para cada par de bolas estudiado. ¿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 cada par de bolas. ¿Qué indica el valor obtenido?

Colisiones inelásticas

Determina para el caso estudiado el valor medio de v_2' y el error asociado.

Calcula a partir de la ecuación 7 el valor del coeficiente de restitución en este caso.

Determina a partir de la ecuación 6 el valor teórico de v_1' y calcula la pérdida de energía cinética que ha tenido lugar durante la colisión.

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^o con la vertical y choca contra un bloque de masa m=5kg 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.

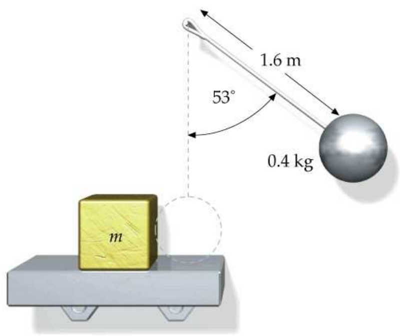

Figura 2: Problema 1

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.

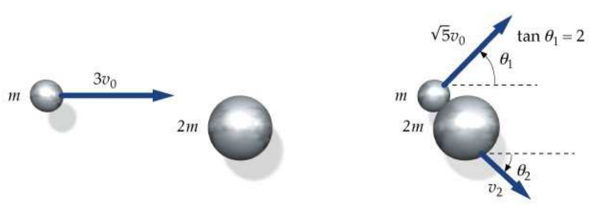

Figura 3: Problema 2