

Trabajo Práctico IV

Guía de estudio de teoremas de conservación

Sofía Paronetto
Daniela Schiavinato
María Victoria Lorenzo

Resumen

En este trabajo nos proponemos estudiar la conservación del impulso lineal y de la energía cinética en un sistema físico que experimenta un choque elástico, y verificar las leyes de conservación relacionadas con dichas magnitudes (*ver introducción: ecuaciones (1) y (6)*). Para ello, diseñamos un dispositivo experimental que nos permitiera obtener un choque de tales características y recaudar datos de la fuerza realizada por nuestro móvil durante el choque y su posición a cada instante, para lo cual utilizamos un sensor de fuerzas y uno de posición. Con estos datos realizamos nuestro análisis, calculamos el valor impulso lineal antes y después del choque y comprobamos que no hay conservación del mismo. A su vez, calculamos el valor de la energía cinética del sistema antes y después del choque y pudimos observar que, en nuestro caso, la energía cinética no se conservó. Por último analizamos la validez de las leyes de conservación para el sistema analizado, las cuales se verificaron en el caso del impulso lineal pero no en el de la energía cinética.

Introducción

Una colisión es el cambio en el movimiento de las partículas que chocan (o por lo menos de una de ellas), pudiendo establecerse una separación bastante definida entre los tiempos que pasan antes de la colisión y los que ocurren después de ella. Las fuerzas que actúan en un choque se llaman impulsivas. En nuestro caso se analizó la conservación del momento lineal y de la energía cinética en la colisión de dos móviles. Entonces, estos dos móviles constituyeron nuestro sistema de estudio.

La variación del impulso o momento lineal (Δp) de un cuerpo movido por una fuerza impulsiva con dirección constante se define como

$$\Delta \bar{p} = \Delta(m\bar{v}) = \int \bar{F} dt, \quad (1)$$

donde m es la masa del cuerpo, \bar{v} la velocidad del mismo y \bar{F} son las fuerzas externas ejercidas sobre el cuerpo. Ahora, considerando un sistema de dos masas puntuales (móvil 1 y móvil 2 en nuestro caso), durante el breve momento que dura la colisión, estas ejercen fuerzas internas entre sí, iguales en módulo pero opuestas en su sentido (*3ª ley de Newton*): $F_1 = -F_2$. Con lo cual, si calculamos la variación del impulso que experimenta cada partícula obtenemos

$$\Delta \bar{p}_1 = \int \bar{F}_1 dt = \bar{F}_1 \Delta t, \quad (2)$$

$$\Delta \bar{p}_2 = \int \bar{F}_2 dt = \bar{F}_2 \Delta t, \quad (3)$$

y se llega a que $\Delta p_1 = -\Delta p_2$, y si no actúan otras fuerzas en el sistema, el cambio total en el impulso es igual a la suma de las variaciones del impulso en cada partícula

$$\Delta \bar{p} = \Delta \bar{p}_1 + \Delta \bar{p}_2 = 0 \quad (4)$$

De este modo la colisión no altera la conservación del momento lineal, siendo \bar{p} constante durante el choque, siempre que no actúen fuerzas externas o, si existen, sean despreciables frente a las impulsivas de la colisión.

Un modo de clasificar las colisiones es considerando la conservación de la energía mecánica durante el mismo. Sabemos que

$$E_m = T + U, \quad (5)$$

donde E_m es la energía mecánica, T es la energía cinética y U la energía potencial. En nuestra experiencia, sólo se considera la energía cinética pues no ocurren variaciones en la energía potencial, ya que el movimiento descrito por los móviles es unidimensional. Si se conserva se trata de un choque *perfectamente elástico*, si ocurre lo contrario, se le llama *plástico* y cuando los dos cuerpos se adhieren quedando unidos después de la colisión, perdiéndose energía se trata de un choque *perfectamente plástico*. En nuestra experiencia se buscó la variación de la energía cinética durante el choque por medio de la ecuación (6).

$$\Delta T = \Delta \left(\frac{1}{2} m \bar{v}^2 \right) = \int \bar{F} dx, \quad (6)$$

donde m es la masa del sistema, \bar{v} la velocidad del mismo y \bar{F} son las fuerzas externas ejercidas sobre el sistema.

En un sistema aislado pueden darse cambios de energía cinética entre las partes del mismo, pero la suma de todas las variaciones debe ser 0, conservándose la energía.

Procedimiento experimental

Para realizar nuestra experiencia contábamos con un sensor de posición y uno de fuerza, una pista con una cinta métrica adosada, dos carritos con imanes de iguales polos colocados en un extremo, una placa de plástico que colocamos verticalmente sobre el carrito para ser detectada por el sensor de posición, un nivel y pesas. Dispusimos de todos nuestros instrumentos como se muestra en la *Figura 1*.

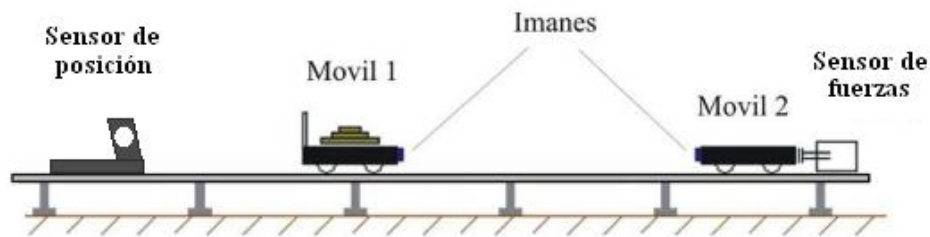


Figura 1: dispositivo experimental utilizado para el análisis del choque entre los móviles 1 y 2

Al armarlo, tuvimos algunos cuidados. En primer lugar, al preparar la pista utilizamos un nivel para corroborar que quedara derecha, pues de otra forma habría actuado una componente del peso acelerando el móvil y dando más energía cinética al sistema, lo cual habría producido un sesgo en nuestro experimento. Luego, para minimizar las interferencias con los sensores de posición utilizados por los demás grupos, tuvimos la precaución de armar dispositivo colocando este sensor mirando hacia la pared. Además, cuando colocamos los carritos corroboramos que los polos iguales de los imanes quedaran enfrentados, de forma que al acercarse un carro al otro, “rebotara” de forma suave.

También corroboramos la calibración del sensor de fuerza: lo ajustamos verticalmente a un pie universal y colgamos de él una masa conocida. De esta forma, la única fuerza que el sensor mediría sería la fuerza peso, calculada multiplicando la masa por la aceleración gravitatoria. Como los valores obtenidos no diferían significativamente, no fue necesario calibrar este sensor. Sin embargo, al corroborar la calibración del sensor de posición, observamos que éste no medía correctamente a distancias mayores a los 40cm, por lo que fue necesario recalibrarlo.

Colocamos el móvil 2 apoyado suavemente contra el sensor de fuerzas, para que al chocarlo el móvil 1 se pudiera medir la fuerza que ejerce el sensor de fuerza sobre el sistema, más precisamente sobre el móvil 2. De lo contrario, el móvil 1 desplazaría al 2 y luego este colisionaría con el sensor de fuerza, y de esta forma no se estaría midiendo la fuerza durante el choque entre el móvil 1 y 2. Por último, como la frecuencia de muestreo del sensor de posición estaba fija en 60Hz, procuramos que el choque fuera temporalmente extenso, para que el sensor realizara una cantidad considerable de mediciones durante el choque. Con este fin colocamos algunas pesas sobre el móvil 1, para que su movimiento resultara más lento.

Al finalizar la experiencia, tomamos nota de la masa total del móvil 1 con una balanza digital, de incerteza instrumental de 0,1g, midiendo por separado las partes del móvil para no superar el peso máximo soportado por la balanza. Se obvió la medición de la masa del móvil 2, debido a que la velocidad del mismo es nula durante todo el choque, por lo que a la hora de realizar los cálculos de la energía cinética e impulso, los términos del móvil 2 son cancelados.

Para verificar las expresiones de las leyes de conservación (1) y (6) fue necesario realizar una integral con el programa *OriginPro* y además definir un error para las mediciones de la fuerza y de la posición. Para el error del sensor de fuerza, consideramos la oscilación del mismo antes de del choque, cuando no había fuerzas ejercidas sobre él, a las cuales les calculamos el desvío estándar (con ayuda del *MotionDAQ*). Tomamos este desvío como incerteza de la fuerza. Realizamos el mismo procedimiento para definir el error del sensor de posición. Luego, para propagar el error de la fuerza en las integrales respecto del tiempo y respecto de la posición, calculamos una integral máxima y una mínima (sumando y restando respectivamente el desvío de la fuerza al valor integrado). De esta forma, definimos el error de la integral como la resta de las integrales máxima y mínima. Los errores del lado derecho de las expresiones (1) y (6) los obtuvimos por propagación (ver *Apéndice*).

Resultados y discusiones

Para poder verificar la ecuación (1) graficamos la fuerza ejercida por el sensor de fuerza sobre el móvil 2 durante el choque en función del tiempo.

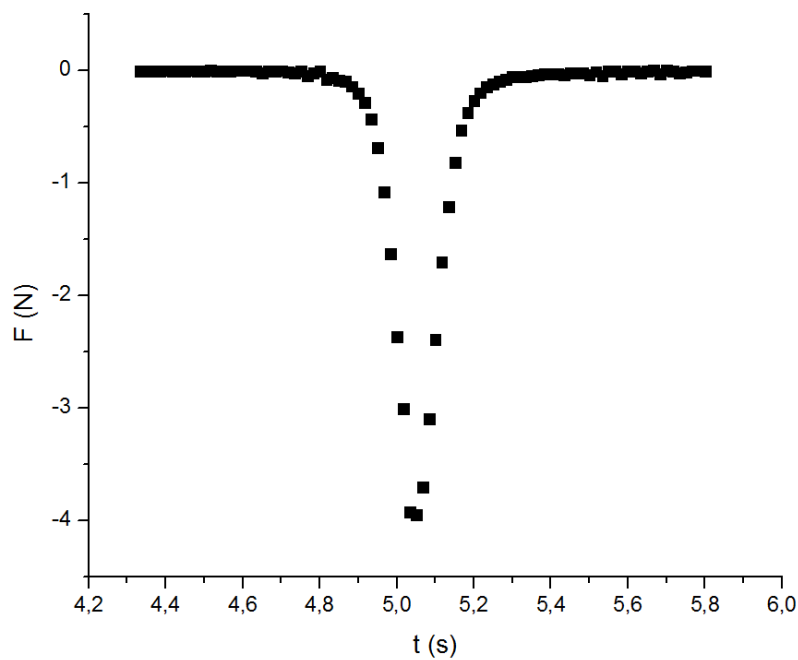


Figura 2: fuerza ejercida entre el sensor de fuerza y el móvil 2 en función del tiempo durante el choque

En la *Figura 2* podemos observar como la fuerza aumenta en módulo progresivamente, valores correspondientes al móvil 1 acercándose al móvil 2. Luego, el módulo de la fuerza comienza a disminuir, lo que nos indica que el móvil 1 se aleja del 2 hasta dejar de estar en contacto.

Con la ayuda del *OriginPro* calculamos la integral de la fuerza respecto del tiempo con su respectiva incerteza (*ver procedimiento experimental*), obteniendo:

$$\int F dt = (-0,556 \pm 0.006) \text{ Ns}$$

Por otro lado, calculamos la variación del momento lineal del sistema durante el choque, a partir de la definición (*ver apéndice*), obteniendo:

$$\Delta P = -0,565 \pm 0.003 \text{ Ns}$$

Podemos observar que los intervalos de ambos valores hallados para el impulso lineal y la integral de la fuerza respecto del tiempo se solapan, por lo que no hay diferencias significativas y podemos concluir que la ley de (1) se cumple para el sistema estudiado.

Por otro lado, podemos concluir también que el momento lineal del sistema durante el choque no se conserva, ya que $\Delta P = P_{\text{después del choque}} - P_{\text{antes del choque}} \neq 0$. Como ya mencionamos, para la conservación del impulso lineal es necesario que no haya fuerzas externas que obren sobre el sistema. En la práctica, el sensor de fuerza, al estar en contacto con el móvil 2 durante el choque, ejerció sobre él una fuerza, alterando así el impulso del sistema. Además, hay que considerar que la pista presenta fricción, aunque no sea una magnitud muy apreciable, lo que también puede haber influido, ya que es una fuerza externa al sistema.

Para estudiar la conservación de la energía cinética durante el choque y la validez de la ecuación (6), graficamos los valores dados por el sensor de posición en función del tiempo, como se puede observar en *la Figura 3*.

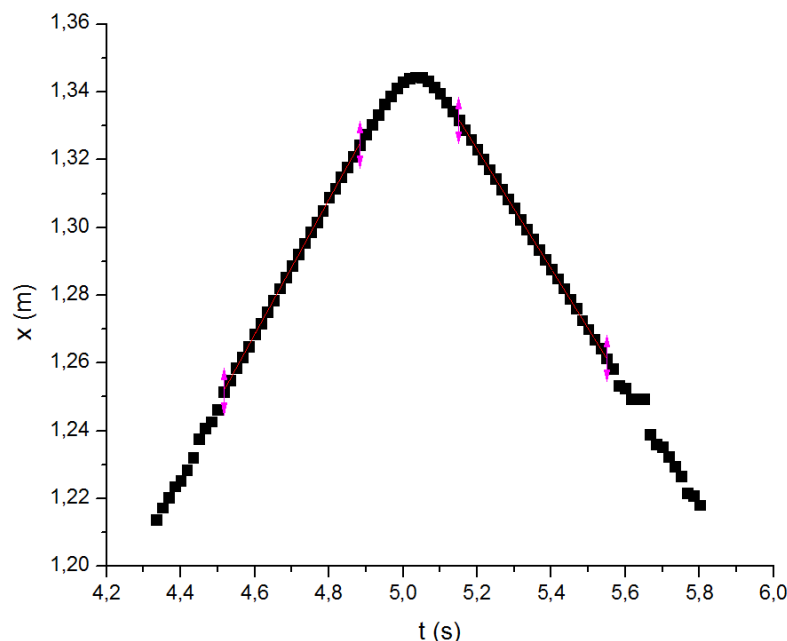


Figura 3: posición del móvil 1 en función del tiempo durante el choque

Luego realizamos un ajuste lineal a los valores correspondientes justo antes y después del choque, los cuales están marcados en la *Figura 3* con los toques rosas. Las pendientes de las rectas nos dieron la información de la velocidad del móvil 1 en dichas posiciones siendo de $(0,1988 \pm 0,0006)\text{m/s}$ y $(-0,1765 \pm 0,0003)\text{m/s}$. Se observa en la *Figura 3* que las rectas ajustan muy bien al gráfico, lo que se traduce en valores de R^2 cercanos a 1 ($0,99981$ para la recta de pendiente positiva y $0,99994$ para la negativa). Con la velocidad pudimos calcular la variación de la energía cinética del sistema (*ver apéndice*) obteniéndose

$$\Delta T = (-0,0063 \pm 0,0003) \text{ J}$$

Vemos que tampoco se conserva la energía cinética durante el choque, ya que $\Delta T = T_{\text{después del choque}} - T_{\text{antes del choque}} \neq 0$. Sabemos que la energía mecánica durante un choque perfectamente elástico se conserva. En el caso estudiado la variación de la energía mecánica está dada por la variación de la energía cinética, como ya hicimos mención en la introducción. Sin embargo, en la práctica es muy difícil realizar un choque perfectamente elástico donde dichas magnitudes se conserven. Factores que pueden haber disipado parte de la energía cinética son la fricción de la pista o la interacción entre el móvil 2 y el sensor de fuerza, al igual que en el caso del impulso.

Para verificar la ley (6) se realizó un análisis sobre la *Figura 4*.

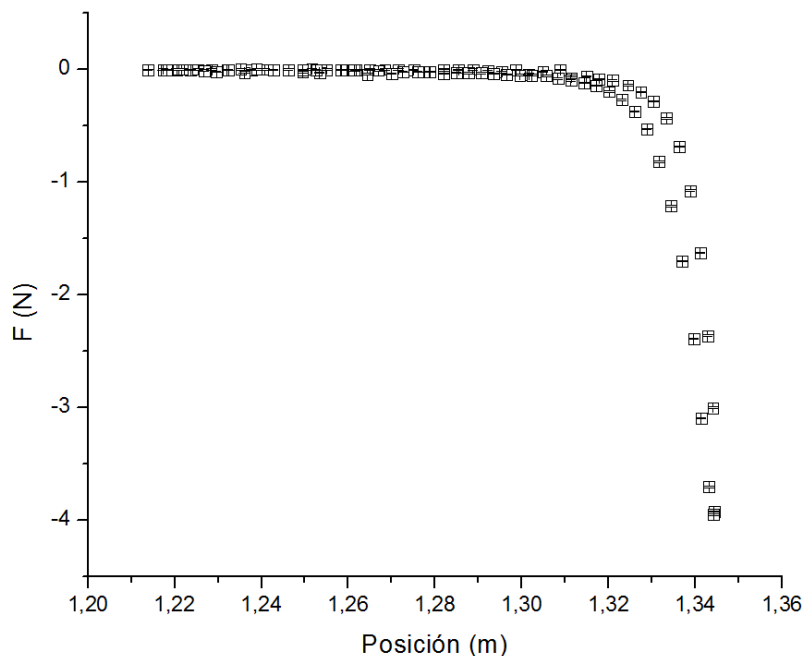


Figura 4: fuerza ejercida entre el móvil 2 y el sensor de fuerza en función del tiempo durante el choque

La integral de la fuerza respecto a la posición se calculó con el *OriginPro* obteniéndose

$$\int F dx = (-0,01689 \pm 0,00005) \text{ J}$$

En este caso no logramos verificar la ley (6), ya que se puede observar que hay diferencias significativas entre los intervalos de los valores obtenidos para cada término de la igualdad. Esto se puede deber a que para la obtención de datos en esta parte del trabajo práctico se introdujo el sensor de posición, agregándole un factor de incerteza a las mediciones, siendo la diferencia de hasta un orden de magnitud.

Conclusiones

Tras la realización de la práctica experimental y el posterior análisis de los datos se pudo verificar la ley de conservación del impulso (1), mientras que la ley de conservación de la energía cinética (6) no se cumplió para el sistema estudiado. Los errores experimentales introducidos por el sensor de posición provocaron una desviación considerable a la hora del cálculo de la integral de la fuerza respecto de la posición.

Por otro lado, pudimos concluir que el choque efectuado entre los móviles en estudio se comportó como un choque elástico, por lo que el momento lineal y la energía cinética del sistema no se conservaron durante el choque, lo que se esperaba en un choque *perfectamente* elástico. Esto se debió a las interacciones de los móviles con agentes externos al sistema, como lo fue el sensor de fuerza y la fricción provocada por la pista.

Apéndice

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$$

$$\Delta P = m_1 \Delta v_1 + m_2 \Delta v_2$$

$$\Delta P = m_1 (v_{1f} - v_{1i})$$

$$\Delta P = 1,505 \text{ kg} (-0,1765 - 0,1988) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta P = -0,565 \text{ N s}$$

$$\Delta(\Delta P) = \left| \frac{\partial \Delta P}{\partial m_1} \right| + \left| \frac{\partial \Delta P}{\partial m_2} \right| + \left| \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta v_1} \right| + \left| \frac{\partial \Delta P}{\partial \Delta v_2} \right|$$

$$\Delta(\Delta P) = \Delta v_1 \Delta m_1 + \Delta v_2 \Delta m_2 + m_1 \Delta(\Delta v_1) + m_2 \Delta(\Delta v_2)$$

$$\Delta(\Delta P) = 0,003 \text{ N s}$$

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2$$

$$\Delta T = \frac{1}{2} m_1 (v_{1f}^2 - v_{1i}^2) + \frac{1}{2} m_2 (v_{2f}^2 - v_{2i}^2)$$

$$\Delta T = \frac{1}{2} 1,505 \text{ kg} (-0,1765^2 - 0,1988^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\Delta T = -0,0063 \text{ J}$$

$$\Delta(\Delta T) = \left| \frac{\partial \Delta T}{\partial m_1} \right| + \left| \frac{\partial \Delta T}{\partial m_2} \right| + \left| \frac{\partial \Delta T}{\partial \Delta v_1} \right| + \left| \frac{\partial \Delta T}{\partial \Delta v_2} \right|$$

$$\Delta(\Delta T) = \frac{1}{2} (v_{1f}^2 - v_{1i}^2) \Delta m_1 + \frac{1}{2} (v_{2f}^2 - v_{2i}^2) \Delta m_2 + m_1 \Delta v_1 \Delta(\Delta v_1) + m_2 \Delta v_2 \Delta(\Delta v_2)$$

$$\Delta(\Delta T) = 0,0003 \text{ J}$$

Referencias

Halliday, David, Resnick, Robert. *Física, parte I*. Nueva edición actualizada. Compañía editorial continental, S.A. 1966.

Guía de trabajos prácticos. *Laboratorio de Física 1 para estudiantes de licenciatura en Ciencias Químicas*. Departamento de Física, FCEyN, UBA. 2013.