

Las colisiones inelásticas entre haces de protones en materiales biológicos son de interés para la destrucción de células tumorosas. La terapia con protones es comúnmente utilizada para tumores en la cabeza y cuello y cánceres pediátricos. La pérdida de energía se da aproximadamente en el 20% de los protones del haz debido a la interacción de estos con los electrones de los átomos.

### 1. ¿Qué es una colisión inelástica?

En una colisión elástica, la energía del movimiento de un objeto, llamada energía cinética, se conserva. Esto significa que durante el choque, el objeto se puede deformar, como si fuera un resorte, luego toda la energía de deformación está restituida en forma de energía cinética. En una colisión inelástica, la energía cinética no se conserva, sino que se transfiere en otro tipo de energía, por ejemplo en energía química (calor, energía interna, deformación inelástica) o energía elástica que no contribuye al movimiento del objeto considerado. Como una pelota de baseball al ser bateada. Hay un instante en el impacto, donde la bola se detiene y comprime en el bate y parte de la energía cinética se disipa como calor por apretar y estirar los polímeros que contiene la estructura de la bola. Parte de la energía está restituida a la pelota y contribuye al movimiento de la pelota.

En ambos tipos de colisiones hay una cantidad que se conserva, la cantidad de movimiento ( $\vec{p}$ ). Esta cantidad vectorial se calcula como el producto de la masa con la velocidad del objeto en un instante determinado,  $\vec{p} = m\vec{v}$ .

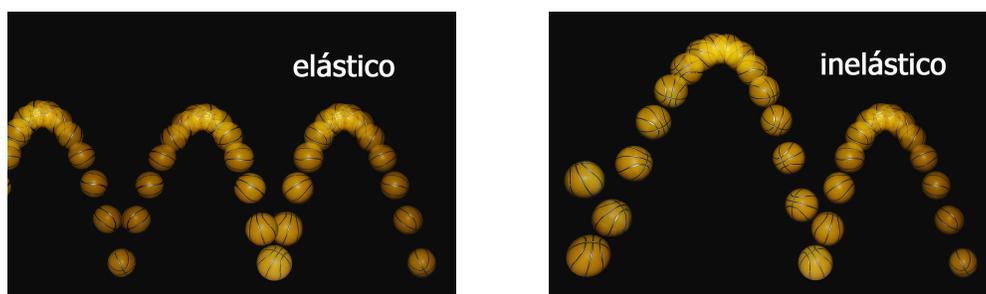


Figura 1: Una pelota tirada a una altura  $h$  del piso va rebotar hasta la misma altura  $h$  en una colisión elástica. En el caso inelástico, cada rebote pierde cierto porcentaje de energía y la altura disminuye en cada rebote.

### 2. Guía experimental para la medición de altura inicial

El objetivo de esta experiencia es estimar una cantidad física y cuantificar la calidad de la estimación. Para eso vas a necesitar una pelota, una superficie de madera y un celular que tenga instalada la aplicación phyphox.

- Una vez que tengas la pelota y la superficie, encuentra la actividad Colisiones Inelásticas, en la sección Mecánica de phyphox.

- Elige una altura de la cual soltar la pelota con algún punto de referencia (ver vídeo en la pestaña “Actividad 1: Colisión inelástica“, ver figura 2). Suelta la esferita y déjala rebotar por lo menos tres veces.
- Anota la primera altura registrada en phyphox (Altura 0).

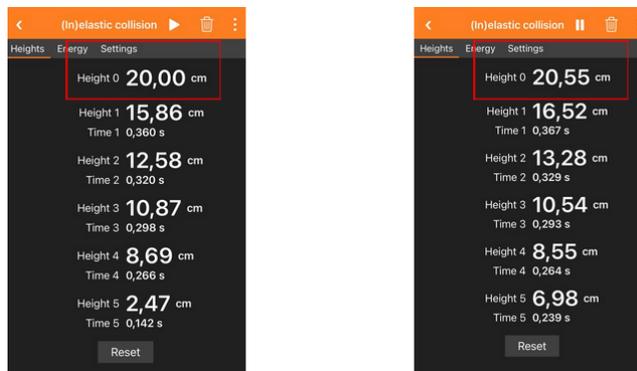


Figura 2: La altura inicial  $h_0$  está indicado por un cuadro rojo en la impresión de pantalla de la aplicación. La altura  $h_0$  se mide desde la parte inferior de la esfera hasta la superficie de rebote.

- Repetilo por lo menos veinte veces, tirándolo siempre desde el mismo punto de referencia y anota los valores en una hoja de cálculo.
- Si mides la distancia entre el suelo y tu punto de referencia desde donde soltabas la pelota, ¿coincide con las alturas registradas por phyphox?
- ¿Cómo determinarías el valor representativo de la serie de datos? Propone una fórmula.
- ¿Este valor es representativo de la calidad de las mediciones? En caso de que no lo considere así, ¿cómo cuantificaría la calidad de las mediciones?

### 3. Guía experimental para la medición del coeficiente de restitución

¿Por qué algunas esferas “rebotan más” que otras?

La respuesta refiere a la cantidad física que buscamos medir en esta actividad: el coeficiente de restitución ( $e$ ). El coeficiente de restitución es una medida de cuánta energía es devuelta al movimiento de la pelota, en lugar de disiparse en forma de calor, sonido, deformación (de una o ambas superficies de contacto), vibraciones (ej. de la superficie de madera), etc. Si llamamos  $h_0$  a la altura desde la cual soltamos la pelota, el coeficiente de restitución se puede calcular como la razón entre la velocidad después y antes del primer rebote, o de forma equivalente, entre  $e = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}$ . Donde para una colisión perfectamente elástica,  $e$  sería 1, y 0 para una colisión perfectamente inelástica.

- Encuentra la actividad Cronómetro Acústico, en la sección Temporizadores de phyphox. Seleccionar la opción mas a la derecha (Many o Rítmico)
- Ahora vuelve a soltar la pelota desde tu altura elegida para obtener el máximo posible de  $N$  rebotes.

- Exporta los datos a un archivo excel y luego se puede gravar el archivo en su drive como un documento google sheet. Finalmente hay una hoja de este documento que contiene todos los datos (All) que pueden copiar (click derecha en el nombre de la pestaña /copy to/existing spreadsheet) y pegar en el documento google sheet compartido con el profesor.
- La columna A contiene los tiempos  $t_i, i = 1, \dots, N$  de cada rebote, la columna B contiene los intervalos  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ . Pueden comprobarlo calculando los  $\Delta t_i$  en otra columna.
- Calcula el coeficiente de restitución para cada par de rebotes  $e_i = \frac{\Delta t_i}{\Delta t_{i-1}}$ .
- Usa las herramientas de las clases previas para estimar un coeficiente de restitución y su incertidumbre.
- ¿De qué depende el coeficiente de restitución?
- Representa gráficamente la altura  $h_i = \frac{g}{2^3}(\Delta t_i)^2$  como función del tiempo.
- Usando los valores de  $\Delta t_i$  hallados, calcula ahora la altura inicial  $h_0 = \frac{g}{2^3} \frac{(\Delta t_1)^4}{(\Delta t_2)^2}$ .