

## Práctica Phyphox: Colisión inelástica

### OBJETIVOS

- Comprender la diferencia entre colisión elástica e inelástica.
- Familiarizarse con el principio de conservación de la energía.
- Calcular la fracción de la energía mecánica que conservan distintos cuerpos cuando chocan con una superficie rígida.

### MATERIAL

- Un Smartphone con la *app Phyphox* instalada.
- Un metro o regla.
- Tres objetos de forma esférica que puedan botar –lo más ruidosamente posible– unas cuantas veces al dejarlos caer sobre una superficie apropiada. Sugerencias: canica, pelota de goma, balón de baloncesto, pelota de tenis, pelota de pádel... En caso de que no dispongas de tres objetos adecuados usa uno o dos y alturas distintas.

### Introducción

Los actuales teléfonos móviles tienen una multitud de sensores que podemos usar para medir magnitudes físicas (aceleración, intensidad de luz, intensidad de sonido, frecuencia de sonido, campo magnético, posición, ...) y así poder realizar sencillos experimentos de física en cualquier lugar, incluso en casa. Existen distintas aplicaciones (*Phyphox*, *Science Journal*, *Physics Tools* ...) que nos permiten usar estos sensores para realizar experimentos. En estas prácticas vamos a utilizar la *app Phyphox* para transformar nuestro teléfono móvil y convertirlo en un laboratorio en nuestra propia casa. Nos familiarizaremos con el uso de *Phyphox* y lo utilizaremos para realizar distintos experimentos.

Lo primero es instalar *Phyphox* en vuestro propio teléfono móvil y familiarizaros un poco con la aplicación. Es una aplicación gratuita y no tiene publicidad. Las instrucciones para usarla se encuentran, además de en la propia aplicación en una página web (<https://phyphox.org/>), donde también hay una lista de posibles experimentos. Muchos de los experimentos propuestos tienen una pequeña *wiki* y un vídeo con explicaciones sobre cómo realizarlos.

*Phyphox* posee dos características muy útiles.

En primer lugar, es posible utilizarlo mediante una interfaz remota desde un segundo dispositivo (PC, tableta, teléfono inteligente, etc.) para controlar el experimento. Esto es importante sobre todo si en el montaje experimental el teléfono no es fácilmente accesible. Se accede a esta posibilidad desde dentro de cada experimento, con el menú que hay marcado con el símbolo de tres puntos verticales en la esquina derecha de la pantalla. La aplicación proporciona un enlace que se puede cargar desde



cualquier navegador. A veces la conexión puede fallar, pero suele acabar funcionando.

En segundo lugar, los datos se pueden descargar muy fácilmente en formato *csv* (valores separados por comas) legible por muchos programas, entre ellos las hojas de cálculo.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

Una colisión elástica entre dos cuerpos es aquella en la que se conserva la energía cinética total del sistema durante la interacción. Asimismo, el momento lineal del sistema también se conserva (leyes de Newton). Esto implica que durante la colisión no se emite sonido, ni calor, ni se producen deformaciones permanentes en los cuerpos como consecuencia del impacto.

Todas aquellas colisiones en las que lo anterior no se verifica se denominan inelásticas. En ellas se producen deformaciones permanentes en alguno(s) de los cuerpos, se emite sonido, se produce calor o se da algún otro tipo de mecanismo de pérdida de energía, la cual puede ser parcial o total.

En nuestro caso tomaremos un objeto esférico y lo dejaremos caer desde una altura no demasiado grande (menor de 1 m). Llamaremos a esta altura  $h_0$ . Podremos observar que tras cada bote (colisión con la superficie sobre la que cae) la altura máxima alcanzada disminuye, lo cual indica que el cuerpo está perdiendo energía en cada colisión. Despreciaremos el rozamiento con el aire, ya que es un efecto mucho más pequeño.

Aplicando el principio de conservación de la energía y despreciando el retroceso de la superficie podemos deducir que los cambios de energía mecánica del cuerpo han de ser producidos por la disipación de energía que tiene lugar en la colisión:

$$\Delta E_{TOTAL} = 0 \implies \Delta(E_C + E_P) = E_D \quad (1)$$

donde  $E_C$  es energía cinética del cuerpo,  $E_P$  es su energía potencial y  $E_D$ , la energía disipada en la colisión. Teniendo en cuenta que en el punto máximo de la trayectoria comprendida entre dos botes consecutivos la energía mecánica es puramente potencial ( $mgh$ ), la energía disipada entre dos puntos álgidos consecutivos es:

$$E_D = mg(h_1 - h_2) \quad (2)$$

donde  $h_1$  es la altura máxima de un bote y  $h_2$  es la correspondiente al siguiente. Por otra parte, dado que la energía en el punto más alto de cada rebote es puramente potencial, podemos relacionar las energías en cada rebote con las alturas máximas alcanzadas:

$$E_2 = E_1 \cdot \frac{h_2}{h_1} \quad (3)$$

donde  $E_1$  y  $h_1$  son la energía y la altura de un bote precedente y  $E_2$  y  $h_2$  son la energía y la altura del siguiente bote.

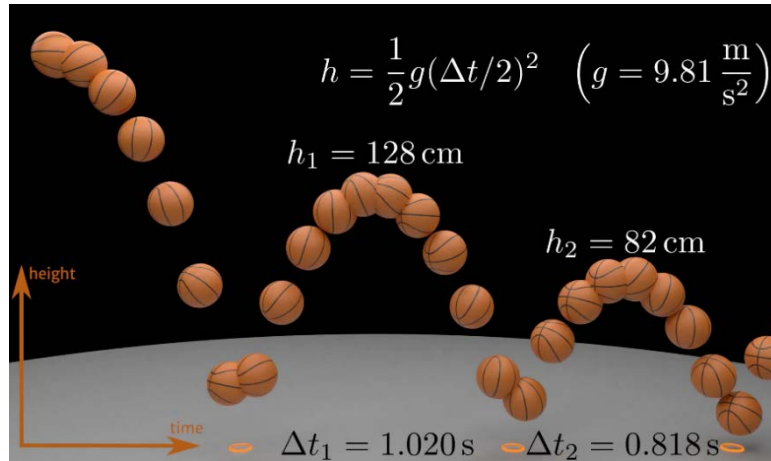


Figura 1: Esquema del experimento: de la página web de *Phyphox*.

Mediante esta última ecuación (3) podemos estimar la fracción de energía mecánica que conserva el cuerpo en cada colisión,  $F_E$ . En general tendremos que  $0 \leq F_E \leq 1$ .

Finalmente, mediante las ecuaciones básicas de la cinemática podemos establecer la relación entre la altura máxima alcanzada entre dos botes consecutivos y el intervalo de tiempo transcurrido entre ambos:

$$h = \frac{1}{2} g \left( \frac{\Delta t}{2} \right)^2 \quad (4)$$

## PROCEDIMIENTO

El experimento consiste en dejar caer un cuerpo esférico desde una altura conocida  $h_0$ . Cada bote sobre la superficie elegida debe generar el ruido suficiente para que el micrófono del Smartphone lo detecte, de modo que *Phyphox* registre los intervalos de tiempo transcurridos entre botes consecutivos, y ofrezca una estimación de las alturas alcanzadas a partir de los tiempos medidos.

Al entrar en *Phyphox* se despliega una pantalla que muestra todos los experimentos disponibles. Hay que descender hasta el apartado de *Mecánica* y seleccionar el experimento *Colisión Inelástica*. A continuación (figura 2) se muestran capturas de pantalla de la *app* para ilustrar la explicación.

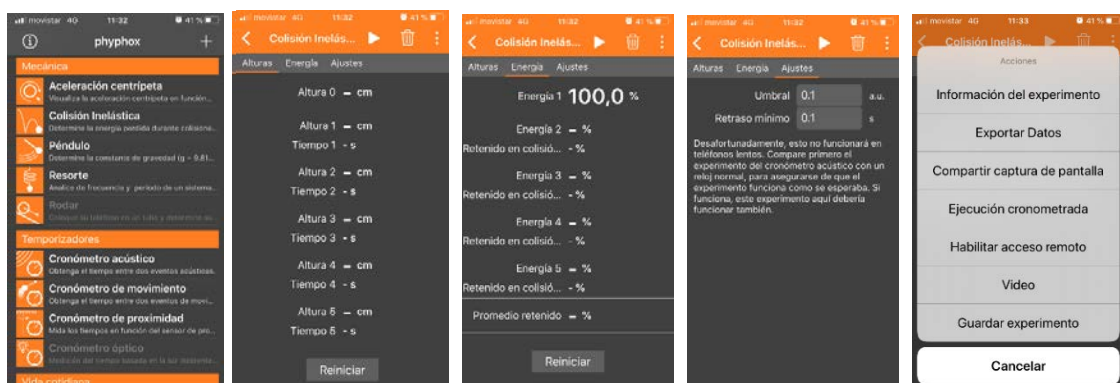


Figura 2: Pantallas de *Phyphox* para el experimento de colisión inelástica.

En blanco sobre fondo naranja aparecen tres símbolos: uno de reproducción, una papelera y tres puntos. Al pulsar el de reproducción se inicia el experimento, con lo que el micrófono del móvil se prepara para capturar el sonido de los botes del cuerpo dejado caer sobre la superficie correspondiente. Al pulsar los tres puntos que se encuentran arriba a la derecha se despliega un menú con múltiples acciones disponibles. Nos facilita información sobre el experimento, nos permite exportar los datos medidos en múltiples formatos (entre ellos Excel), podemos realizar una captura de pantalla y nos permite hacer muchas otras cosas útiles.

Debajo de la parte naranja se encuentra una estrecha franja de color gris claro, donde podemos seleccionar *Altura*, *Energía* y *Ajustes*. Por defecto está seleccionada la opción *Alturas*, donde se nos muestran las estimaciones de las alturas alcanzadas en cada bote y los tiempos medidos entre botes consecutivos. Estos son los datos con los que trabajaremos en esta práctica. En el apartado *Ajustes* se nos permite modificar el umbral, que sirve para eliminar el ruido no deseado, y el retraso mínimo, que nos permite eliminar posibles ecos molestos. En general los *Ajustes* que vienen establecidos por defecto serán satisfactorios, pero en caso de sufrir ruido no deseado y eco pueden modificarse. Además, en la sección *Energía* se nos muestra el balance energético correspondiente a cada bote, según los cálculos hechos por la *app*.

## RECOMENDACIONES

- Lo ideal es encontrar una combinación de cuerpo, superficie y altura inicial desde la que dejar caer el cuerpo tal que se consiga el máximo número de botes posibles. Aunque sin superar una altura inicial de 1 m. Al fin y al cabo, la *app* nos devolverá un máximo de 5 pares de medidas de tiempos y alturas.
- Si no se consigue lo anterior, puede que exista ruido ambiente no deseado o que se estén produciendo ecos, por lo que sería aconsejable trasladar el experimento a otro lugar más aislado acústicamente o modificar los parámetros de umbral y retraso mínimo que aparecen en la pestaña *Ajustes* de *Phyphox – Colisión inelástica*.
- Estimar la incertidumbre asociada a la medida del tiempo como la precisión del cronómetro (1 milésima de segundo).
- Estimar la incertidumbre asociada a las medidas de la altura ofrecidas por *Phyphox* como 0,01 cm.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

1. Escoge tres cuerpos, como se sugiere en la sección de “Material”, y realiza una medida con cada uno siguiendo las instrucciones anteriores. Mide con cuidado la altura desde la que se dejan caer. Para cada uno de los tres cuerpos anota las alturas y tiempos que proporciona el programa. Calcula las alturas con la expresión (4) y compáralas con las que proporciona *Phyphox*, sin tener en cuenta su primera

- altura<sup>1</sup>. Calcula el porcentaje de energía conservada en cada bote,  $F_E$  y su incertidumbre usando las alturas que has calculado. ¿Se conserva la misma fracción de energía mecánica  $F_E$  en cada bote? Compara los resultados para los tres cuerpos ¿Son lo que uno esperaría intuitivamente considerando sus materiales?
2. Calcula el valor medio para  $F_E$  y su incertidumbre, tratando los valores de  $F_E$  como si fueran medidas directas y considerando sólo la incertidumbre aleatoria. Suponiendo que esta fracción es válida también para el primer bote estima la altura inicial para cada objeto. Compara en una gráfica esta altura con la que has medido con la regla y la estimación de *Phyphox* (en *Phyphox* se denomina altura 0), mostrando las barras de error para las dos primeras, para la tercera no puede hacerse, ya que *Phyphox* no proporciona una estimación de su incertidumbre.
  3. Intenta estimar la incertidumbre real en los tiempos. Por ejemplo, para uno solo de los tres cuerpos se pueden repetir 4 veces las medidas para una altura inicial fija. Luego se calcularía la media de los intervalos de tiempo transcurridos entre botes consecutivos y las incertidumbres sistemática y aleatoria asociados a dichos valores medios ¿Es coherente con la estimación de 1 milésima de segundo?
  4. En caso de que no dispongas de tres objetos adecuados prueba con tres alturas distintas. En ese caso comprueba y comenta si  $F_E$  depende de la energía inicial.
  5. Discute los resultados y analiza las posibles fuentes de error y limitaciones del experimento.

**NOTA:** Además de los puntos anteriores puedes añadir otras medidas, comprobaciones o análisis de los datos, la única restricción es que el informe sea conciso y razonablemente breve, seis caras como máximo. Se sugiere añadir una foto del montaje.

## BIBLIOGRAFÍA

<https://phyphox.org/experiment/inelastic-collision/>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Inelastic\\_collision](https://en.wikipedia.org/wiki/Inelastic_collision)

---

<sup>1</sup> Hay que tener en cuenta que la altura 0 ofrecida por la *app* es una estimación de la altura desde la que se ha dejado caer el cuerpo, obtenida extrapolando a partir de las otras alturas. Por tanto, en la cuestión 1 no ha de utilizarse el dato altura 0.