Práctica 2. Caída libre

1. Objeto de la práctica

En esta práctica se trata de determinar la aceleración de la gravedad a partir de la caída de una esfera metálica. Para ello se emplearán dos diferentes tipos de ajuste para mostrar la diferencia en la precisión.

Una vez obtenido el valor de g se trata de repetir la experiencia para otras esferas, estimando así la fuerza de rozamiento que actúa sobre ellas.

2. Fundamento teórico

2.1 Caída sin rozamiento

Galileo estableció que, en ausencia de rozamiento, los cuerpos, independientemente de su masa o tamaño, caen con la misma aceleración

$$a = g$$

lo cual implica que la posición varía cuadráticamente con el tiempo. Si dejamos caer un objeto y medimos la distancia desde el punto de lanzamiento como función del tiempo resulta

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

que en el caso de que parta del reposo se reduce a la curva

$$x = x_0 + \frac{1}{2} g t^2$$

Incluso si parte del reposo, puede haber un error sistemático en la medida de tiempos, lo que nos lleva de nuevo a la ecuación de una parábola con todos los coeficientes no nulos

$$x = x_0 + \frac{1}{2} g (t - t_0)^2 = \left(x_0 + \frac{1}{2} g t_0^2\right) - (g t_0) t + \frac{1}{2} g t^2$$

En esta práctica tomaremos los tiempos de paso por una serie de posiciones conocidas. Ajustaremos una curva suponiendo en primer lugar que $t_0 = 0$ (lo cual permitirá emplear un ajuste lineal) y luego suponiendo que no es nula (lo que requerirá un ajuste cuadrático).

2.2 Efecto del rozamiento

Lo anterior es cierto en ausencia de rozamiento. La fricción con el aire provoca una fuerza opuesta al movimiento que depende de la densidad del aire y del tamaño del objeto. El efecto de esta fuerza es relativamente mayor cuanto menos densa sea la partícula.

Podemos dar un valor promedio de la fuerza de rozamiento midiendo la aceleración de caída de una esfera y despejando

$$ma = mg - F_r \quad \Rightarrow \quad F_r = m(g - a)$$

3. Descripción del instrumental

El material preciso para la realización de esta práctica es:

- Una torre con nueve células fotoeléctricas y un electroimán.
- Un interruptor del paso de corriente.
- Dos contadores de tiempo con cuatro lecturas cada uno.
- Cables de conexión.
- Una balanza digital.
- Un calibre o pie de rey.
- Una esfera metálica.
- Varias esferas de diferentes materiales.
- Un recipiente de recogida de las esferas.

4. Realización de la práctica

4.1 Caracterización de las esferas

La primera parte de la práctica consiste en medir las dimensiones y masas de las esferas, a partir de las cuales se determinará más adelante su densidad media.

4.1.1. Medida de la masa

1. Conéctese la balanza digital.
2. Sitúese una arandela de goma a modo de peana. Tárese la balanza (con el botón de "Zero") para que marque 0 con la arandela sobre ella.
3. Mídase la masa de cada una de las cinco esferas.

4.1.2. Medida del diámetro

1. Con ayuda del calibre, mídase el diámetro de la esfera metálica y de las demás esferas. Para la lectura correcta del tornillo, consúltese el apartado correspondiente en el boletín de la práctica *1. Medidas Geométricas*. Dado que algunas de ellas son flexibles y por tanto la medida es incierta, no deben apretarse, sino que basta con que queden sujetas por el calibre.

4.2 Medida de posiciones

1. Determínese, con la mayor precisión posible, la altura de cada una de las ocho células fotoeléctricas respecto a la posición inicial definida por la celda que se encuentra junto al electroimán. Para ello, con ayuda de una regla anótense las posiciones de las nueve células y réstese a todas ellas la posición de la primera.
2. Compruébese que al colocar una esfera en el electroimán el orificio de la célula inicial se encuentra al nivel de la parte superior de la esfera.

4.3 Medida de la caída

4.3.1. Esfera metálica

1. Ciérrese el interruptor que conecta el electroimán y colóquese la esfera metálica "1" en el electroimán. Verifíquese que el led que hay en la célula queda encendido cuando la esfera está colgando del electroimán.
2. Resetéense todas las células (**salvo** la primera, donde está la bola), pulsando en el botón de "Ajuste". Todos los *displays* deben quedar a 0 o en blanco.
3. Pónganse a cero los dos contadores con los cuatro *displays* en cada uno.
4. Ábrase el interruptor, desconectando el electroimán.
5. Tómese nota de los ocho tiempos, correspondientes a las ocho posiciones.
6. Repítase el proceso con cada una de las esferas restantes.
7. Si en alguno de las caídas, alguno de los contadores sigue corriendo después de pasar la bola (o llega a 9.999) es que la bola no ha pasado por él. En ese caso deberá repetirse el experimento y volver a anotarse los ocho tiempos.

5. Análisis de los datos

5.1 Cálculo de la densidad

Para cada una de las esferas, calcúlese su densidad de masa suponiendo que es homogénea

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{6m}{\pi D^3}$$

5.2 Cálculo de la aceleración de la gravedad

5.2.1. Mediante un ajuste lineal

1. Para la esfera metálica, calcúlese t^2 para cada uno de los tiempos.
2. Mediante la aplicación **Lineal** o equivalente, calcúlese la recta de mejor ajuste de ($x_0 - x$) frente a t^2($x_0 - x = A + Bt^2$). Téngase cuidado con el hecho de que aquí ($x_0 - x$) es la ordenada, no la abscisa.
3. Trácese la gráfica correspondiente a estos datos $(t^2, x_0 - x)$ y su recta de mejor ajuste.
4. La pendiente de esta recta, B, debe ser igual a $g/2$, por ello,

$$g = 2B$$

5. Calcúlese la desviación relativa respecto al valor estándar de la gravedad, $g_0 = 9.80665\,\mathrm{m/s^2}$

$$\epsilon_g = \frac{\Delta g}{g_0} = \frac{g - g_0}{g_0}$$

5.2.2. Mediante un ajuste cuadrático

1. Mediante la aplicación **Parábola** (disponible en la sección de *Herramientas* de la web de prácticas) calcúlese la parábola de mejor ajuste de ($x_0 - x$) frente a t ($x_0 - x = A + Bt + Ct^2$).
2. Trácese la gráfica correspondiente a estos datos $(t, x_0 - x)$ y su parábola de mejor ajuste (emplee una "línea de tendencia" polinómica de grado 2).
3. El coeficiente del término cuadrático, C, debe ser igual a $g/2$, por ello,

$$g = 2C$$

4. Calcúlese la desviación relativa respecto al valor estándar de la gravedad

5.3 Cálculo de la fuerza de rozamiento

1. Para cada una de las restantes esferas realice el cálculo de la parábola de mejor ajuste con la aplicación **Parábola**.
2. Trace la gráfica correspondiente a cada una de series de datos y sus parábolas de mejor ajuste. Hágase una gráfica para cada esfera.
3. El coeficiente del término cuadrático, C, debe ser igual a $a/2$, por ello,

$$a = 2C$$

4. Calcule la fuerza de rozamiento promedio como

$$F = m(g_0 - a)$$

siendo m la masa de cada esfera y g_0 la aceleración estándar de la gravedad.

6. Cuestiones relativas a la realización de esta práctica

- A la vista de los resultados, ¿cuál de los dos métodos de ajuste, lineal o parabólico, da un mejor resultado para g? En métodos numéricos, se distingue entre precisión (*precision*) y exactitud (*accuracy*). El resultado con mayor precisión es el que tenga menor incertidumbre. El de mayor exactitud es el que más se acerque al valor real. Comparando los resultados obtenidos ¿es el de mayor precisión el de mayor exactitud? ¿Por qué?
- A la hora de calcular las fuerzas de rozamiento, ¿hay algún resultado que sea absurdo? ¿A qué puede deberse?
- ¿Qué factores cree que son los más relevantes para el valor de la fuerza de rozamiento?