Facultad de Ciencias Universidad Zaragoza

Real Sociedad Española de Física

R.S.E.F.

Universidad Zaragoza

37 Olimpiada ESPAÑOLA DE FÍSICA

FASE DE ARAGÓN

2ª PRUEBA

13 de febrero de 2026

GRUPO LACASA

INMA INSTITUTO DE NANOCIENCIA Y MATERIALES DE ARAGÓN

Departamento de Física Aplicada Universidad Zaragoza

Departamento de Física de la Materia Condensada Universidad Zaragoza

LSC Laboratorio Subterráneo de Canfranc

Instituto Universitario de Investigación de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos Universidad Zaragoza

GALACTICA

cofis Colegio Oficial de Físicos

Fundación ibercaja

GOBIERNO DE ARAGON Departamento de Educación, Cultura y Deporte

Problema experimental. Péndulo balístico[1]

Disponemos de un péndulo formado por un bloque de plastilina de masa M colgado de un hilo, de masa despreciable frente a M, de forma que la distancia entre el punto de sujeción y el centro del bloque es L (figura 1). Estando el péndulo en equilibrio vertical, una bolita de masa m que viaja con velocidad horizontal v se incrusta en el centro de la masa M. Tras este choque, las masas se elevan hasta una altura máxima h. Este sistema se conoce como péndulo balístico.

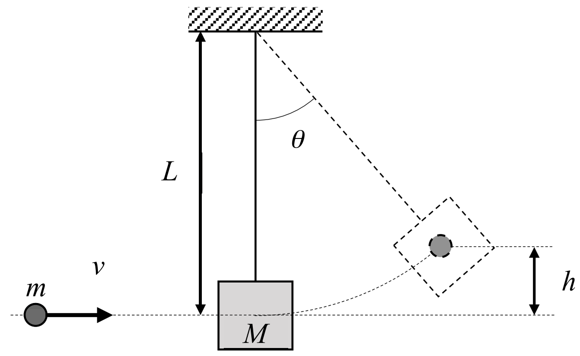


Figura 1

Para el lanzamiento de la bolita de masa m se dispone de un muelle de constante K desconocida, no representado en la figura. Con este muelle es posible "disparar" la bolita de una forma bastante simple: se comprime el resorte una distancia Δx, que se mide con una regla, se apoya la bolita en su extremo y se suelta el muelle.

Cuanto mayor es la compresión inicial del resorte, Δx, mayor es la velocidad, v, con que sale disparada la bola y mayor la altura h que llega a alcanzar el péndulo tras el choque. Dado que no es fácil medir h, se coloca una escala angular junto al hilo que permite medir con una precisión razonable el ángulo máximo, θ, que llega a formar el péndulo con la vertical tras el choque. La relación entre h y θ se obtiene fácilmente de la geometría del problema.

Preguntas.

En un experimento con el péndulo balístico se miden los valores del ángulo máximo θ cuando se lanza la masa m para diversos valores de la compresión del resorte, Δx.

Δx (cm)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
θ (º)	11	15	17	18	21	23	26	29	30	33	36

a) Deduce una expresión analítica para h en función de K, m, M, g (aceleración de la gravedad) y Δx.

Se habrá obtenido una dependencia $h(\Delta x)$ de la forma:

$$h = A\,\Delta x^2, \qquad (1)$$

donde A es una constante que depende de m, M, K y g.

b) Elabora una tabla de valores para los puntos $(x, y) = (\Delta x^2, h)$, y represéntalos gráficamente en el papel milimetrado.

c) Determina el valor de la constante A a partir de la pendiente de la recta que mejor se ajusta a estos puntos.

d) A partir de A deduce el valor de la constante elástica del resorte, K.

e) Haz una estimación razonada de la incertidumbre ΔA de la constante A obtenida en el apartado c).

f) Teniendo en cuenta lo anterior, haz una estimación de la incertidumbre ΔK en el valor de la constante elástica K que has obtenido en d).

Datos: L = 50 cm; M = 100 g; m = 10 g.

[1] *Esta prueba está inspirada en la prueba experimental propuesta en la VII Olimpiada Iberoamericana de Física celebrada en Guatemala en 2002*

Problema experimental. Solución

a) En el disparo de la bolita mediante el muelle se conserva la energía mecánica, por lo que

$$\frac{1}{2}K\Delta x^2 = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{K}{m}}\Delta x \tag{2}$$

Cuando la bolita choca con la masa M se queda incrustada, por lo que no se conserva la energía, pero sí se conserva la cantidad de movimiento, que será igual antes y después del choque, lo que permite calcular la velocidad v' con la que inicia su movimiento el péndulo

$$mv = (m+M)v' \quad \Rightarrow \quad v' = \frac{m}{m+M}v = \frac{\sqrt{Km}}{m+M}\Delta x \tag{3}$$

Durante el movimiento del péndulo la energía se conserva, de modo que

$$\frac{1}{2}(m+M)v'^2 = (m+M)gh \quad \Rightarrow \quad h = \frac{1}{2g}v'^2 \tag{4}$$

Sustituyendo la expresión de v' se obtiene

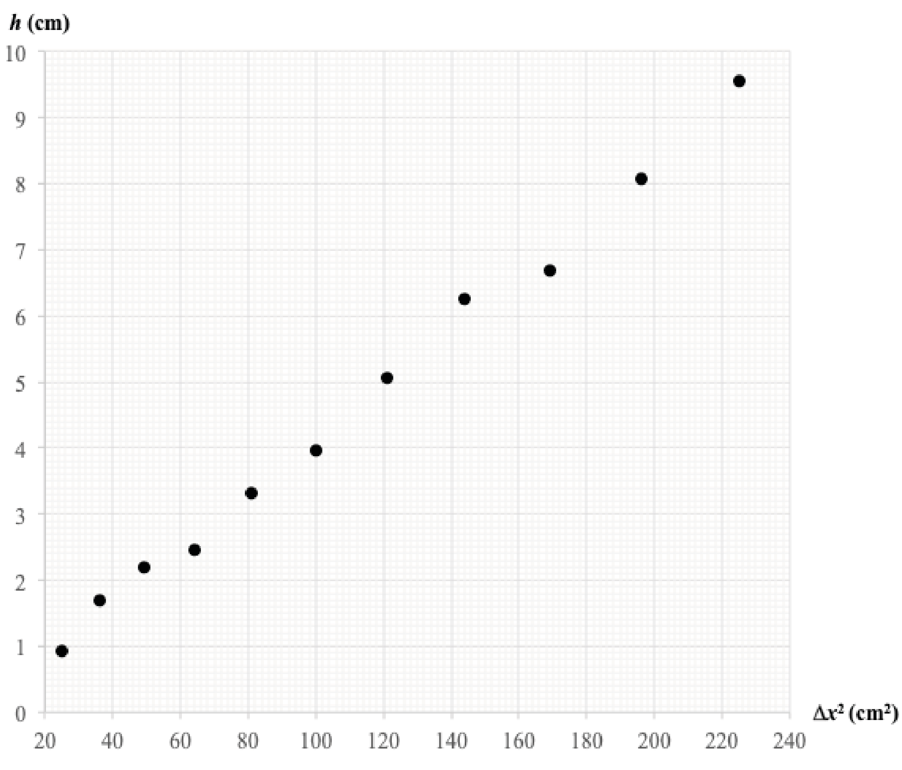
$$\boxed{h = \frac{Km}{2g(m+M)^2}\Delta x^2} \tag{5}$$

b) La relación entre h y θ viene dada por la expresión

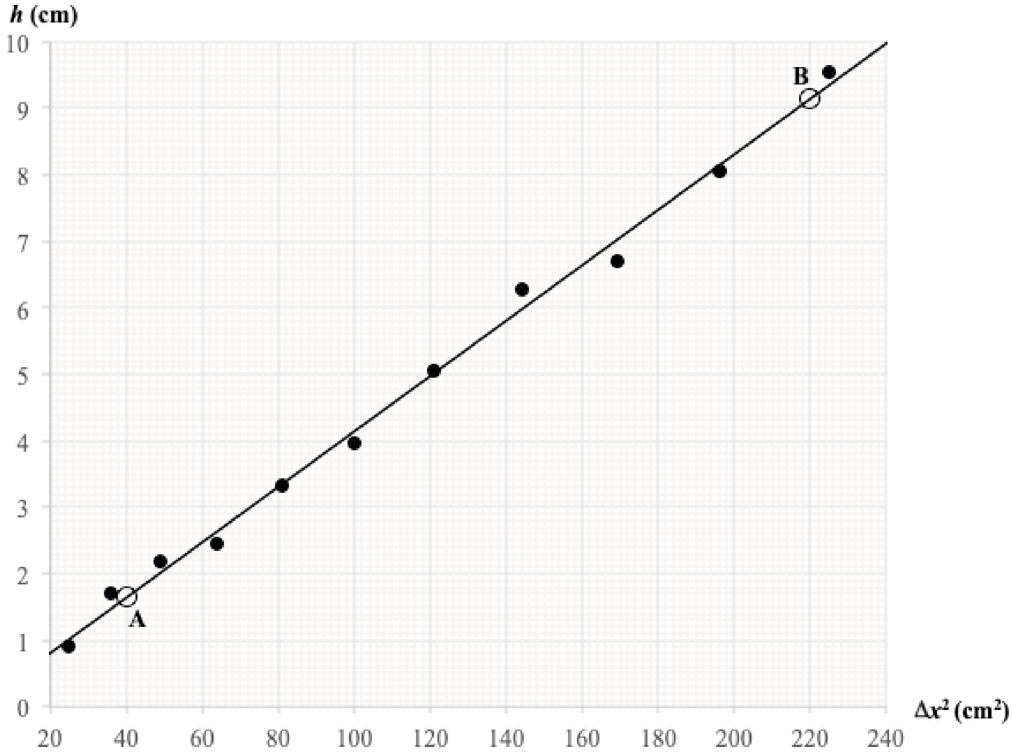
$$h = L(1 - \cos\theta). \tag{6}$$

A continuación, se presenta la tabla y la gráfica pedida, con el aspecto que tendría dibujada en papel milimetrado.

Δx^2 (cm^2)	25	36	49	64	81	100	121	144	169	196	225
***h* (cm)**	0,92	1,70	2,18	2,45	3,32	3,97	5,06	6,27	6,70	8,07	9,55



c) Para determinar de forma "manual" la recta que mejor se ajusta a los puntos experimentales se busca la recta que pasa lo más cerca posible de todos ellos y de forma que queden igual de dispersos a cada lado.



Se toman dos puntos auxiliares alejados sobre esta recta (no puntos experimentales), por ejemplo $\mathrm{A}(40;1{,}6)$ y $\mathrm{B}(220;9{,}1)$.

La pendiente de la recta es

$$p = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{9{,}1 - 1{,}6}{220 - 40} = 0{,}0417\ \mathrm{cm}^{-1} = 4{,}17\ \mathrm{m}^{-1}\,.$$

Un ajuste analítico por el método de *mínimos cuadrados* conduce a un valor prácticamente igual.

Según la ecuación (1), la constante A buscada coincide con la pendiente de la recta,

$$\boxed{A = p = 4{,}17\ \mathrm{m}^{-1}}.$$

d) Comparando las expresiones (1) y (5) se obtiene

$$A = \frac{Km}{2g(m+M)^2}\,. \tag{7}$$

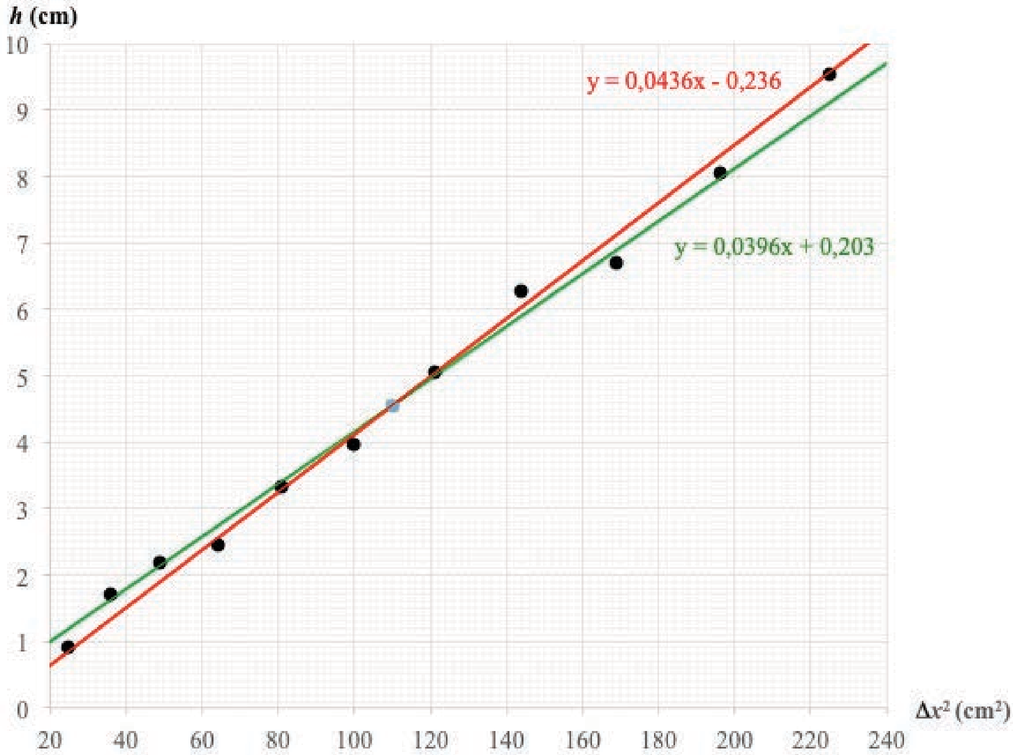
de donde se puede despejar K,

$$K = \frac{2g(m+M)^2}{m}A\,. \tag{8}$$

Sustituyendo el valor de A deducido en el apartado b) y los datos del problema se obtiene

$$\boxed{K = 98{,}9\ \mathrm{N/m}}.$$

e) Para hacer una estimación de la incertidumbre Δp (que coincide con la incertidumbre ΔA) se trazan, de nuevo "a ojo", las rectas que pasando por el "centro" de los puntos, $(\bar{x},\bar{y}) = (110;\ 4{,}56)$ y, con pendientes máxima y mínima, se ajustan razonablemente a los puntos experimentales.



La incertidumbre estimada de la pendiente, Δp, vendrá dada por

$$\Delta p = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{2} \qquad \rightarrow \qquad \boxed{\Delta p = \frac{0{,}0436 - 0{,}0396}{2} = 0{,}002\ \text{cm}^{-1} = 0{,}2\ \text{m}^{-1}}.$$

Dado que sólo se tienen 11 puntos experimentales, la incertidumbre se da con una cifra significativa, de modo que el valor de A con su incertidumbre será

$$\boxed{A = 4{,}2 \pm 0{,}2\ \text{m}^{-1}}.$$

f) Dado que la constante K es proporcional a la constante A, su incertidumbre se puede obtener directamente como

$$\Delta K = \frac{2g(m+M)^2}{m}\Delta A \quad \rightarrow \quad \Delta K = 5\ \text{N/m}\,,$$

donde también se ha tenido en cuenta que, en este caso, la incertidumbre se da con una cifra significativa. Así, a partir de los datos del experimento, se puede concluir que

$$\boxed{K = 99 \pm 5\ \text{N/m}}.$$